VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

556394 Инв.

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР

ЦАГИ

Отделение Научно-Технической Информации

ОБЗОРЫ. ПЕРЕВОДЫ. РЕФЕРАТЫ.

ОБЗОРЫ

ВТУЛКИ НЕСУЩИХ ВИНТОВ ВЕРТОЛЕТОВ

(по материалам иностранной печати)

№ 393

1972

629.7

Составил М.А. Лернер

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

В в е д е н и е I

Конструкция втулок 4

I. Втулки с шарнирным креплением лопастей 4

I) Втулки с совмещенными горизонтальными и вертикальными шарнирами 4

2) Втулки с горизонтальными и вертикальными шарнирами, имеющими небольшой разнос I2

3) Горизонтальные и вертикальные шарниры со значительным разносом I4

П. Втулка несущего винта на кардане I5

Ш. Втулки жестких несущих винтов (с бесшарнирным креплением лопастей) I7

I) Втулки несущего винта с жестким креплением лопастей I7

2) Втулки несущего винта с упругим креплением лопастей 20

Конструктивные особенности новых схем втулок 23

I) Особенности использования эластомерных подшипников 23

2) Концепция АВС 30

3) Особенности втулок несущих винтов со складыванием лопастей 33

4) Устройства для уменьшения вибраций несущего винта (маятниковые демпферы) 34

...тура 37

556394

Оформление Н.П. Кулагиной

... г. Обьем 5,5 п.л. Тираж I96 экз. Цена 2 руб.

...ательский отдел ЦАГИ. Зак. Р-I359

ВТУЛКИ НЕСУЩИХ ВИНТОВ ВЕРТОЛЕТОВ

В в е д е н и е

Общую тенденцию процесса развития разработки и конструирования втулок несущих винтов вертолетов не так просто последовательно проследить, поскольку каждая конкретная вертолетная фирма, как правило, применяет втулки определенной конструкции.

Однако, можно отметить возрастающую сложность конструкции втулок несущих винтов с шарнирным креплением лопастей при одновременном улучшении их весовых характеристик, надежности и усталостной прочности, что достигается более тщательной проработкой деталей конструкции с учетом более глубокого понимания условий работы несущего винта.

В последнее время большой интерес проявляется к упрощенной конструкции втулки несущего винта, в которой шарниры заменяются упругими элементами. Существует несколько путей достижения этой цели, отличающиеся своими принципиальными и конструктивными особенностями у различных авиационных фирм: Локхид, Белл и Боинг-Вертол (США), Бёлков (ФРГ), SNIAS (Франция), Уэстленд (Англия). Вряд ли при переходе к бесшарнирному креплению лопастей можно рассчитывать на существенное снижение веса втулки. Достигаемое усовершенствование конструкции нацелено на повышение эффективности за счет снижения себестоимости и эксплуатационных расходов и на улучшение характеристик управляемости ввиду значительного увеличения мощности управления. Эти улучшения достигаются ценой преодоления значительных трудностей вследствие усложнения процессов расчета. Например, если для расчета втулки с шарнирным креплением лопастей должно быть затрачено порядка I5 часов машинного времени ЭВМ, то при расчете втулки жесткого несущего винта (с бесшарнирным креплением лопастей) затраты машинного времени ЭВМ достигают I20 часов.

В настоящее время практически применяется примерно семь основных схем втулок несущих винтов. Перед рассмотрением наиболее интересных конструкций втулок кратко перечислим преимущества и недостатки каждой схемы втулки.

Классическая схема втулки несущего винта с шарнирным креплением лопастей: лопасти крепятся посредством горизонтальных, вертикальных и осевых шарниров. В этом случае существенную роль играет величина разноса (расстояния от оси втулки) горизонтальных и вертикальных шарниров, которая определяет конструкцию втулки.

Несущий винт с совмещенными горизонтальными шарнирами и вертикальными шарнирами достаточно приемлем в конструктивном отношении, допускает использование простой методики при определении напряжений (исключая случай резонанса).

55639[4]

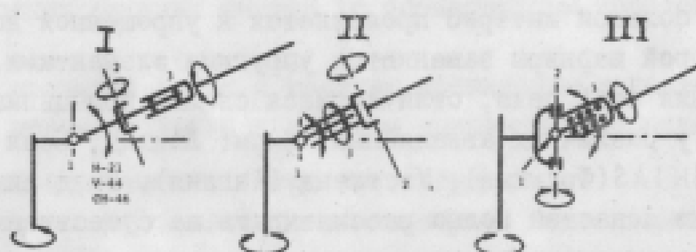
БИБЛИОТЕКА
КАЗАНСКОГО
АВИАИНСТИТУТА

Однако, вертолет с таким несущим винтом неустойчив, имеет неудовлетворительные характеристики управляемости, подвержен опасности возникновения самовозбуждающихся колебаний на земле и в воздухе. Втулка такого несущего винта тяжела и сложна, должна также включать демпферы колебания лопасти относительно вертикальных шарниров и упоры-ограничители, ограничивающие перемещение лопастей в шарнирах.

Несущий винт с вертикальными и горизонтальными шарнирами, имеющими небольшой разнос, обладает значительно лучшими характеристиками устойчивости и управляемости, но ему присущи, в определенной степени, все остальные недостатки схемы с вертикальными и горизонтальными шарнирами.

Несущий винт с большим разносом горизонтальных (и вертикальных) шарниров имеет превосходные характеристики устойчивости и управляемости. Подбором увеличенного разноса вертикальных шарниров (и соответствующих характеристик демпфирования) устраняются самовозбуждающиеся колебания вертолета. Однако втулка и комлевые части лопастей получаются неизбежно тяжелее и сложнее, чем у несущего винта с совмещенными шарнирами. Большой разнос шарниров привлекает внимание конструкторов также в связи с проблемой уменьшения срыва потока на отступающей лопасти.

По взаиморасположению шарниров практически применяются три основные схемы, показанные на фиг.I. В первой схеме, которая применялась, например, фирмой Боинг-Вертол на вертолетах Н-2I, V-44 и СН-46 "Си-Найт", следующая последовательность



Фиг. I. Три схемы взаиморасположения шарниров крепления лопастей несущего винта вертолета

Обозначения: I – горизонтальный шарнир,
2 – вертикальный шарнир,
3 – осевой шарнир

I схема, последовательность расположения шарниров: I-2-3

П схема, последовательность расположения шарниров: I-3-2

Ш схема, последовательность расположения шарниров: 2-I-3

расположения шарниров: горизонтальный, вертикальный и осевой шарниры. Следовательно, изменение угла установки шага лопасти происходит за горизонтальным и вертикальным шарнирами и рычаг управления шагом перемещается в плоскости вращения вместе с лопастью. С изменением угла наклона оси осевого шарнира изменяется шаг лопасти (при наличии компенсатора взмаха). По второй схеме (вертолет Боинг-Вертол СН-47 "Чинук") изменение шага лопасти происходит между горизонтальным и вертикаль-

ным шарнирами и рычаг управления шагом лопасти не перемещается вместе с лопастью при ее колебаниях относительно вертикального шарнира. В третьей схеме, применяемой на современных вертолетах фирмы Сикорский, последовательность расположения шарниров: вертикальный, горизонтальный и осевой шарниры. Рычаг управления шагом лопасти перемещается вместе с лопастью при ее колебаниях относительно вертикального шарнира.

Схемы втулок несущих винтов с шарнирным креплением лопастей помимо того, что они отличаются взаиморасположением шарниров и величиной их разноса, могут иметь и другие отличия, например, проушины горизонтального шарнира могут быть смещены так, что ось вертикального шарнира не совпадает с радиальным положением продольной оси лопасти.

Известно, что при вращении несущего винта, лопасти под действием сил сопротивления и центробежной силы отклоняются назад от радиального положения на средний угол. При этом угол установки лопасти (в случае обычной схемы с шарнирным креплением лопастей), изменяется на величину $\Delta\varphi \simeq \beta \cdot \zeta_0$ т.е. на величину пропорциональную произведению угла взмаха и угла отклонения лопасти в плоскости вращения. Следовательно, при колебании лопасти относительно горизонтального и вертикального шарниров угол установки ее будет изменяться, увеличиваясь при взмахе лопасти вверх и отклонении назад относительно вертикального шарнира. Во избежание возможных проявлений неустойчивого махового и других движений лопастей, неустойчивого махового и других движений лопастей, вводится компенсатор взмаха, погашающий неблагоприятное изменение угла установки лопасти. Однако, эффективность компенсатора взмаха может оказаться чрезмерной на режиме авторотации несущего винта.

Преимущество схемы втулки, у которой ось горизонтального шарнира не совпадает с радиальным положением продольной оси лопасти, состоит в том, что в этом случае будет значительно меньше изменяться угол установки лопасти при отклонении назад лопасти относительно вертикального шарнира.

Втулка несущего винта с эластомерным подшипником обладает всеми преимуществами системы с шарнирным креплением лопастей при значительно упрощенной конструкции втулки. Эластомерный подшипник состоит из чередующихся сферических слоев эластомера (резины) и металла. Под действием центробежной силы лопасти эластомерный подшипник сжимается, а перемещения лопастей в плоскости взмаха и в плоскости вращения, а также изменение угла установки лопасти - приводят к сдвигу эластомера.

Втулка несущего винта на кардане не имеет сложных элементов, свойственных схеме с шарнирной подвеской лопастей и является, по-видимому, самой простой в конструктивном выполнении. В ней отсутствуют вертикальные шарниры и демпферы для демпфирования колебаний лопастей относительно вертикальных шарниров. Горизонтальный шарнир, общий для обеих лопастей несущего винта, воспринимает не центробежные силы, создаваемые лопастями, а лишь силу тяги несущего винта.

Недостатком этой схемы является неприменимость ее для больших вертолетов вследствие ограничений, связанных с постоянным углом конусности лопастей несущего винта. Кроме того, несущему винту на кардане свойственен особый вид неустойчивости типа аэродинамического флаттера, получивший название "волнение" несущего винта (от волнообразной траектории, прочерчиваемой в пространстве концами лопастей).

Жесткий несущий винт не имеет ни горизонтальных, ни вертикальных шарниров. Однако, при отсутствии шарниров, лопасти могут крепиться к втулке несущего винта

жестко или посредством упругих элементов - торсионов, поэтому точнее следует называть такие несущие винты винтами с бесшарнирным креплением лопастей.

Жесткое крепление лопастей может быть применено на небольших вертолетах,чтобы избежать чрезмерной величины переменного изгибающего момента, действующего в комле лопасти. Отклонение лопастей в плоскости взмаха и в плоскости вращения несущего винта, в этом случае, осуществляется благодаря упругой деформации самих лопастей, которые, следовательно, должны быть выполнены достаточно упругими.

При креплении лопастей к втулке посредством упругих элементов-торсионов, последние воспринимают действующие на лопасти центробежные силы и позволяют лопастям отклоняться в плоскости взмаха и в плоскости вращения несущего винта.

Жесткий несущий винт обладает рядом преимуществ: допускает значительное смещение центровки вертолета, быстро реагирует на управление и обеспечивает хорошие характеристики устойчивости вертолета.

Было определено экспериментально, что мощность управления жесткого несущего винта вдвое превышает мощность управления несущего винта на кардановом подвесе, причем, теоретические расчеты показали, что жесткий винт имеет в I4 раз большую потенциальную возможность управления в сравнении с винтом на кардане. У вертолета с жестким несущим винтом может быть обеспечена хорошая продольная управляемость без хвостового оперения.

Применение жесткого несущего винта допускает использование наклоняющегося пилона, обеспечивающего возможность изменения угла атаки несущего винта и благодаря этому возможность установки в полете фюзеляжа в положение, соответствующее минимальному сопротивлению вертолета, что особенно существенно для скоростных вертолетов. Кроме того, жесткое крепление лопастей несущего винта позволяет перераспределять аэродинамическую нагрузку на ометаемую площадь несущего винта (путем бокового смещения центра тяжести вертолета) таким образом, что это может быть использовано для отдаления срывного режима на отступающей лопасти, уменьшения вибраций и увеличения максимальной скорости полета вертолета.

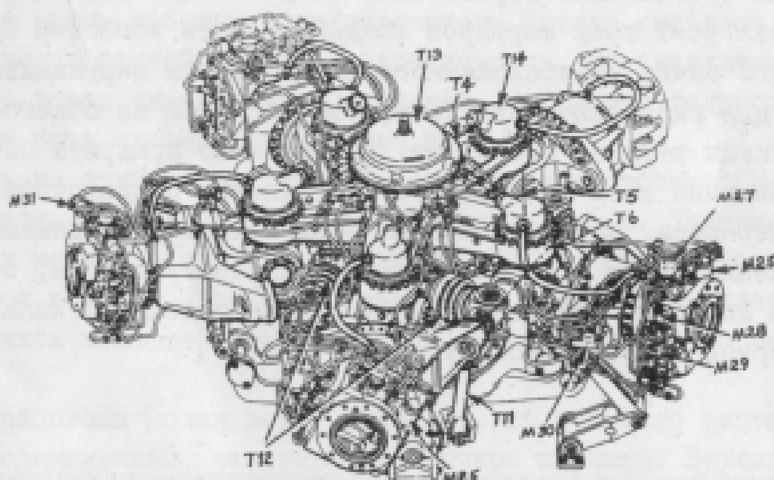
КОНСТРУКЦИИ ВТУЛОК

I. Втулки с шарнирным креплением лопастей

I) Втулки с совмещенными горизонтальными и вертикальными шарнирами

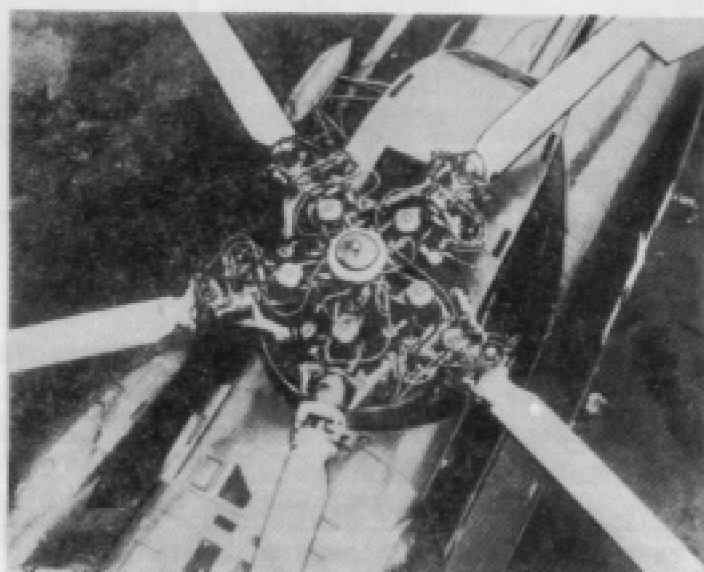
Эта конструктивная схема использована для втулок несущих винтов американских вертолетов фирмы Сикорский SH-3D "Си Кинг, S-65; S-64 "Скай Крейн"; S-55, S-58; S-62, английских вертолетов Уэстленд "Уирлуинд" и "Уэссекс" и французских вертолетов SA 330 и SA-32I.

Втулка пятилопастного несущего винта вертолета Сикорский SH-3D "Си Кинг" имеет совмещенные горизонтальные и вертикальные шарниры (фиг.2 и 3). Ось осевого шарнира расположена за осью вертикального шарнира и тяга рычага управления шагом лопасти



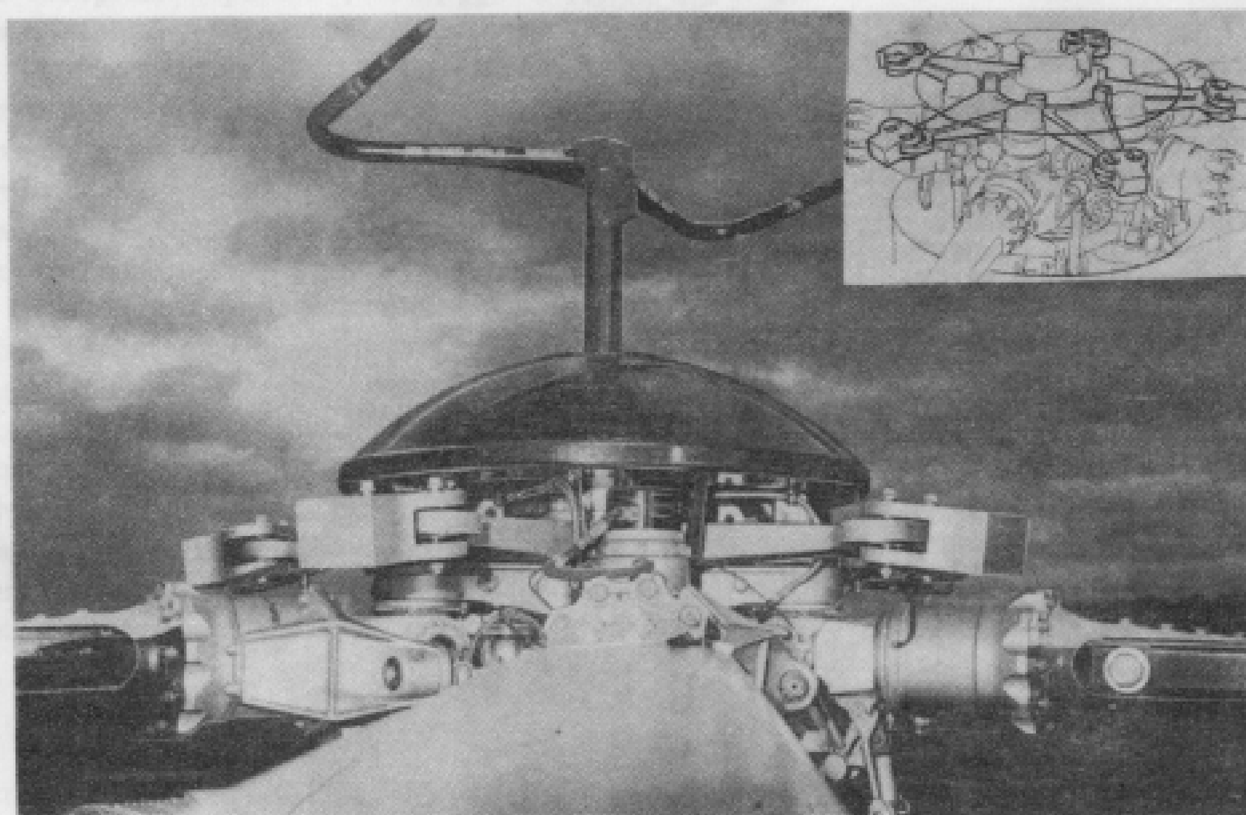
Фиг. 2. Схема втулки несущего винта вертолета Уэстленд-Сикорский SH-3D "Си Кинг"

I(T4)-ступица втулки несущего винта; 2(T5)-ось горизонтального шарнира; 3(T6)-ось вертикального шарнира; 4(T7)-автомат перекоса; 5(T8)-нижнее невращающееся кольцо автомата перекоса с тягой; 6(T9)-верхнее вращающееся кольцо автомата перекоса с тягой; 7(TI0)-обойма подшипника; 8(TII)-тяги управления шагом несущего винта; 9(TI2)-гидравлические демпферы; I0(TI3)-бачок для питания демпферов; I2(M25)-палец шарнира; I3(M26)-палец замка; I4(M27)-цилиндр пальца замка; I5(M28)-золотник запирающегося механизма; I6(M29)-золотник механизма разворачивания лопастей; I7(M30)-цилиндр управления запирающим устройством; I8(M3I)-концевой выключатель запирающего устройства; I9(M32)-силовой цилиндр системы складывания лопастей; 20(M33)-зубчатые секторы



Фиг. 3. Втулка несущего винта вертолета Уэстленд-Сикорский SH-3D "Си Кинг"

перемещается вместе с лопастью. Втулка снабжена автоматической системой складывания лопастей. Смазка всех трех шарниров каждой из пяти лопастей производится из отдельного масляного бачка, расположенного над корпусом вертикального шарнира. Гидравлическая смесь для гидравлических демпферов подается из общего бачка, установленного сверху ступицы втулки. Сверху втулка частично прикрыта обтекателем из стекловолокна. Изменение шага лопастей осуществляется посредством тяг управления шагом и автомата перекоса, имеющего вращающееся кольцо и невращающееся кольцо. Каждая тяга управления шагом лопасти снабжена микрорегулятором, обеспечивающим точную установку шага лопасти. Благодаря этому замена отдельных лопастей может производиться без повторной проверки соконусности.



Фиг. 4. Втулка несущего винта вертолета Сикорский S-61 с бифилярными демпферами

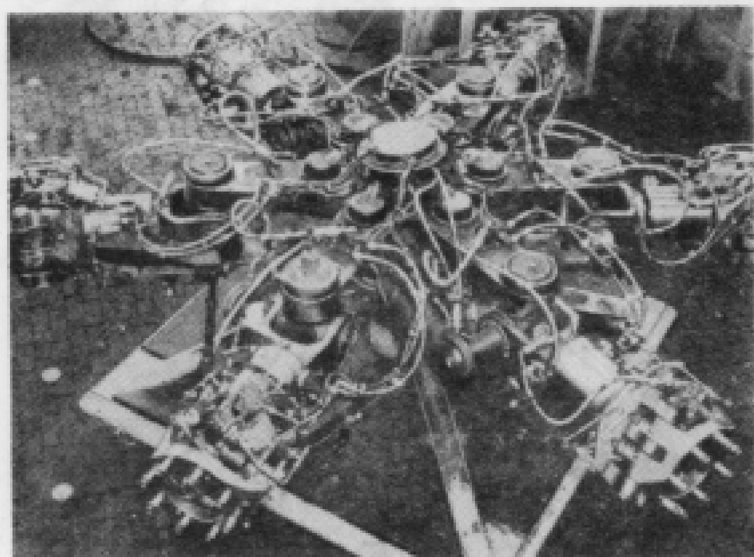
Складывание лопастей осуществляется автоматически посредством гидравлической системы нажатием кнопки в кабине летчика. Давление в гидравлической системе 2I0 кгс/см^2. Необходимая последовательность операций при складывании лопастей обеспечивается электрогидравлическим механизмом.

Втулка пятилопастного несущего винта вертолета Сикорский S-6I (фиг.4) создана по той же конструктивной схеме, что и втулка несущего винта вертолета SH-3D "Си Кинг", но на втулке установлены бифилярные (маятниковые) демпферы уменьшения вибраций несущего винта. Механизм складывания лопастей отсутствует. Верхняя часть втулки закрыта обтекателем.

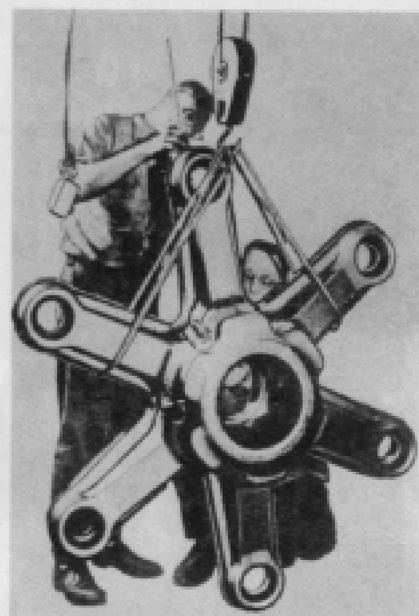
Втулка шестилопастного несущего винта вертолета Сикорский S-65 (CH-53A) (фиг.5) отличается малым лобовым сопротивлением. Втулка снабжена автоматической системой складывания лопастей, включая ограничитель, устанавливающий несущий винт в нужное положение перед складыванием лопастей. С помощью гидропривода лопасти несущего винта могут быть сложены менее, чем за I мин.

На фиг.6 показана ступица втулки несущего винта вертолета CH-53A, выполненная из титанового сплава. Диаметр ступицы втулки равен I,5 м. Толщина поперечных сечений ступицы втулки меняется от 3 мм до I29 мм. Её вес составляет I34 кгс, что на I00 кгс меньше веса остальной ступицы втулки. Из титанового сплава выполнены также: шарнир складывающихся лопастей, вал фиксации лопастей несущего винта, детали автомата перекоса.

В I97I г. разработана новая конструкция втулки несущего винта вертолета CH-53 с эластомерными подшипниками, заменившими обычные шарниры. Втулка имеет только



Фиг. 5. Втулка несущего винта вертолета Сикорский S-65 (CH-53A)

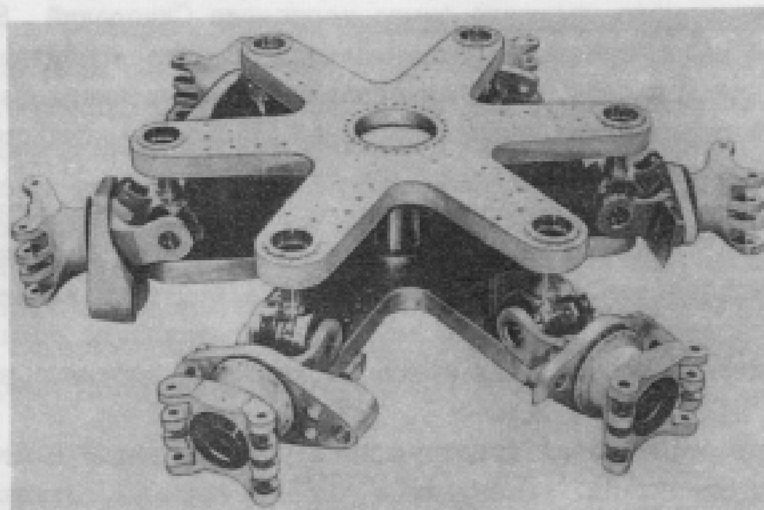


Фиг. 6. Ступица втулки несущего винта вертолета Сикорский CH-53A, выполненная из титанового сплава

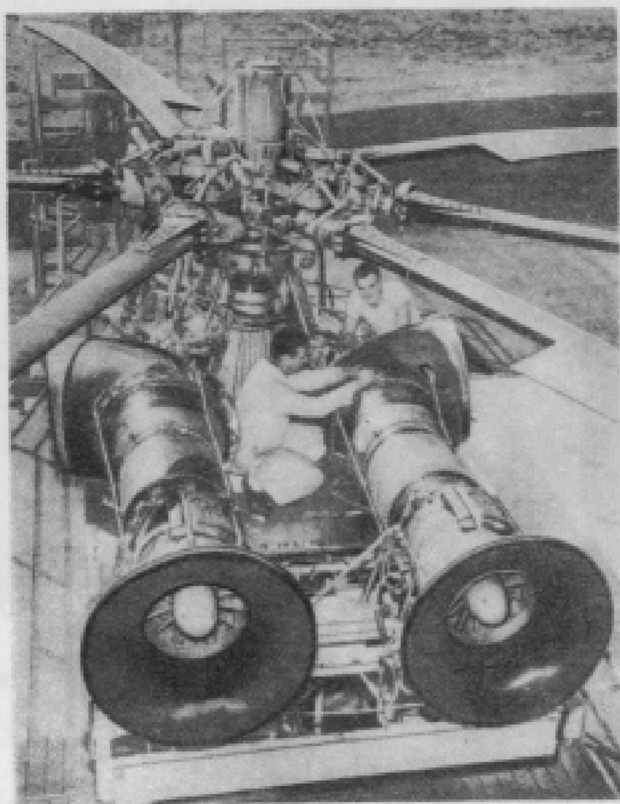
шесть эластомерных подшипников, заменяющих 8 шарниров, в каждом из которых было установлено от двух до четырех подшипников.

На разрабатываемой модификации вертолета Сикорский CH-53E с семилопастным несущим винтом, спроектированным для вертолета-крана Сикорский S-64B, втулка будет снабжена эластомерными подшипниками.

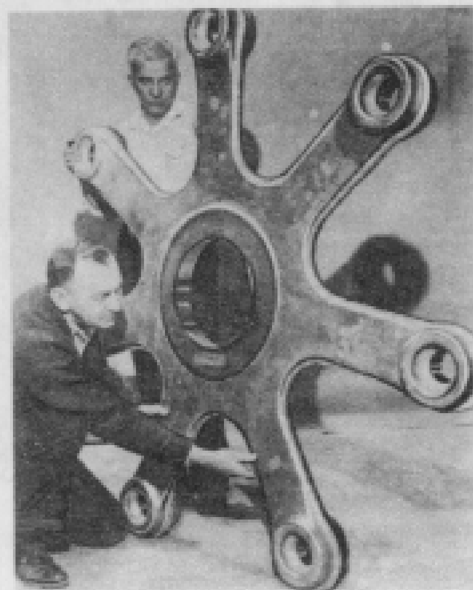
В конструкции втулки несущего винта вертолета-летающего крана Сикорский S-64 (фиг.7) в большей ее части (до 75%) использованы детали втулки вертолета S-65. Несущий винт вертолета-крана Сикорский S-64A - шестилопастный (фиг.8).



Фиг. 7. Втулка несущего винта вертолета-летящего крана Сикорский S-64A



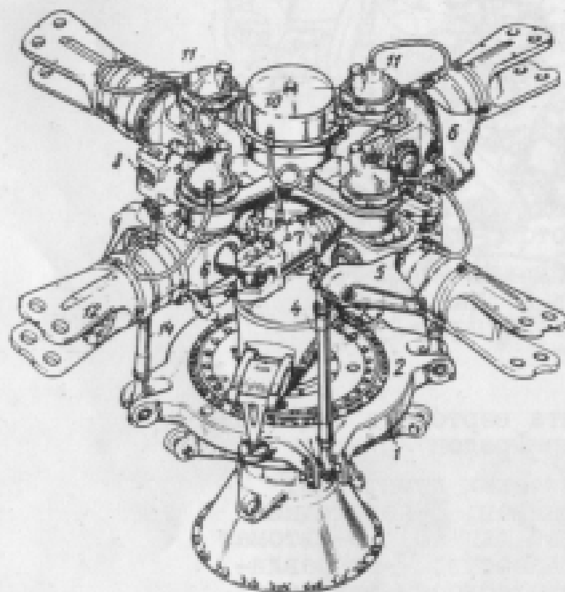
Фиг. 8. Несущий винт вертолета-летающего крана Сикорский S-64A



Фиг. 9. Ступица втулки несущего винта вертолета Сикорский S-64B, выполненная из титанового сплава

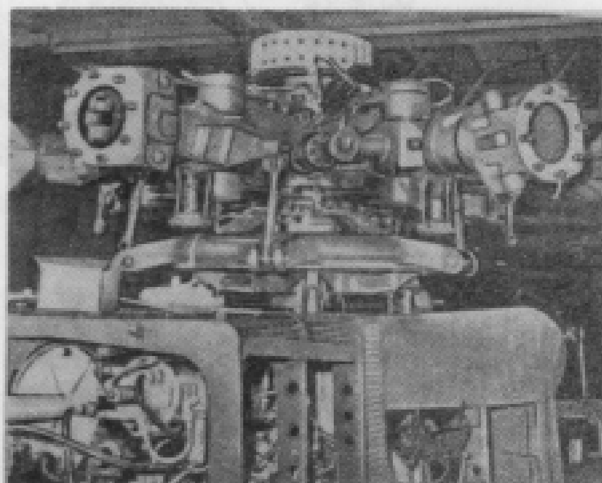
Несущий винт вертолета летающего крана S-64B - семилопастный, лопасти которого имеют большую длину, чем у вертолета S-64A. Ступица втулки несущего винта вертолета Сикорский S-64B изготовлена из титанового сплава (фиг.9). Вес титановой поковки ступицы втулки составляет 450 кгс; после обработки вес ступицы уменьшается почти вдвое.

Втулка четырехлопастного несущего винта вертолета SNIAS SA.330 также создана по схеме с совмещенными горизонтальными и вертикальными шарнирами (фиг.IO и II). Последовательность расположения шарниров (от ступицы втулки): горизонтальный, вертикальный и осевой. Колебания лопастей в плоскости вращения демпфируются гидравлическими демпферами. Система смазки шарниров - автоматическая (масло для смазки шарниров поступает самотеком из индивидуальных маслорезервуаров).



Фиг.IO. Схема втулки несущего винта вертолета SA.330

I(T6)-нижнее невращающееся кольцо автомата перекоса; 2(T7)-верхнее вращающееся кольцо автомата перекоса; 3(T8)-шлиц шарнир; 4(T9)-тяги управления шагом; 5(TIO)-роговые компенсаторы управления шагом; 6(TII)-вертикальный шарнир; 7(TI2)-демпфер вертикального шарнира; 8(TI3)-горизонтальный шарнир; 9(TI4)-ступица втулки несущего винта; IO(TI5)-указатель уровня масла в маслорезервуарах для смазки вертикального шарнира; II(TI6)-индивидуальные маслорезервуары; I2(TI7)-узлы крепления лопастей при помощи двух пальцев

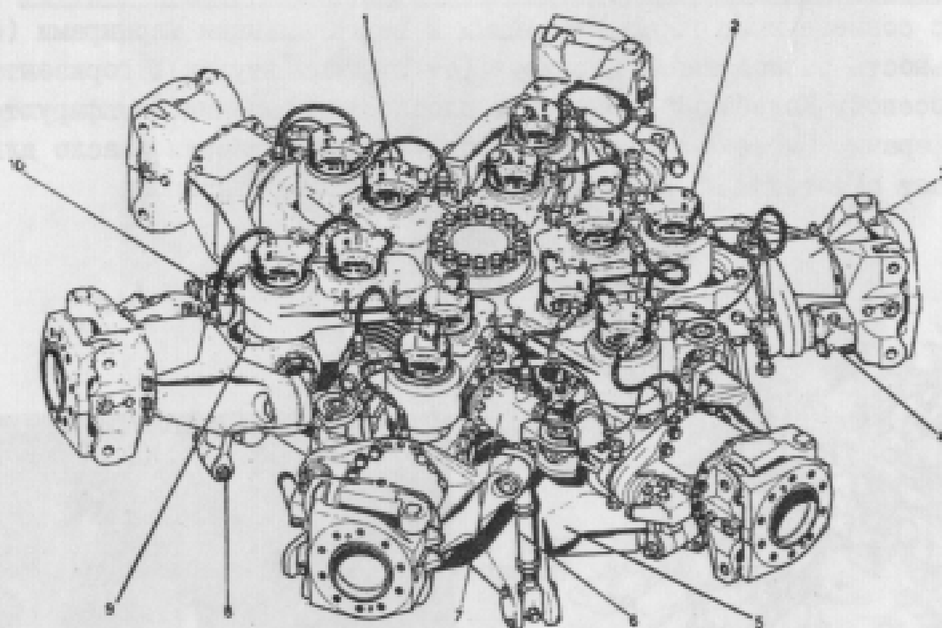


Фиг. II. Втулка несущего винта вертолета SNIAS SA.330

Крепление каждой лопасти к втулке осуществляется двумя болтами, что облегчает процесс складывания лопастей, которое осуществляется вручную.

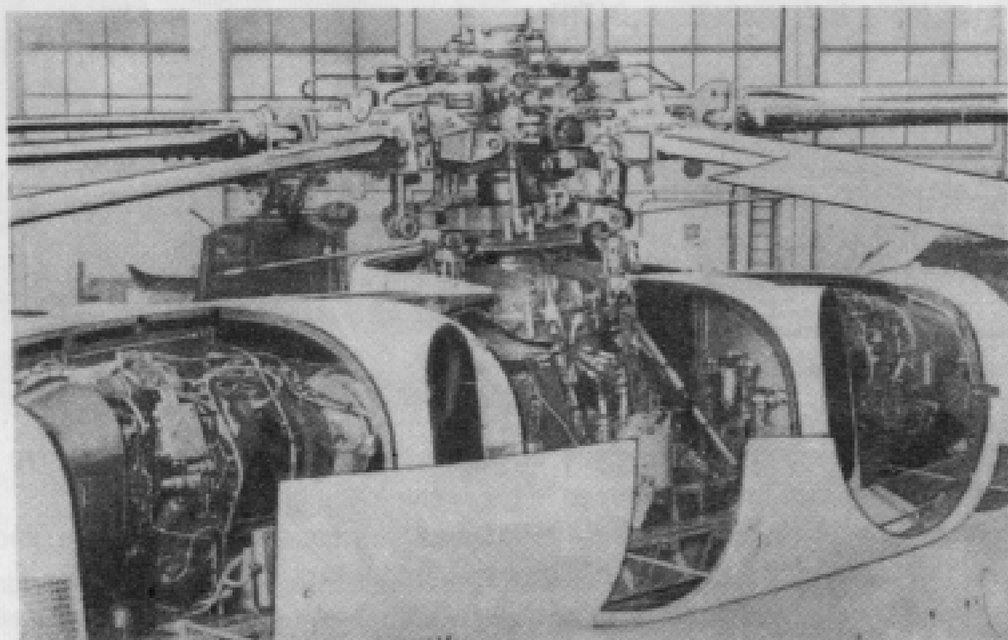
По такой же конструктивной схеме выполнена втулка пятилопастного несущего винта вертолета Сюд Авиасьон SA.32I "Супер Фрелон" (фиг.I2 и I3).

Помимо гидравлического демпфера колебаний лопасти в плоскости вращения (относительно вертикального шарнира), втулка снабжена демпфером колебаний лопасти в плоскости взмаха. Втулка имеет переходники крепления комля лопасти; каждый переходник снабжен запорным устройством.

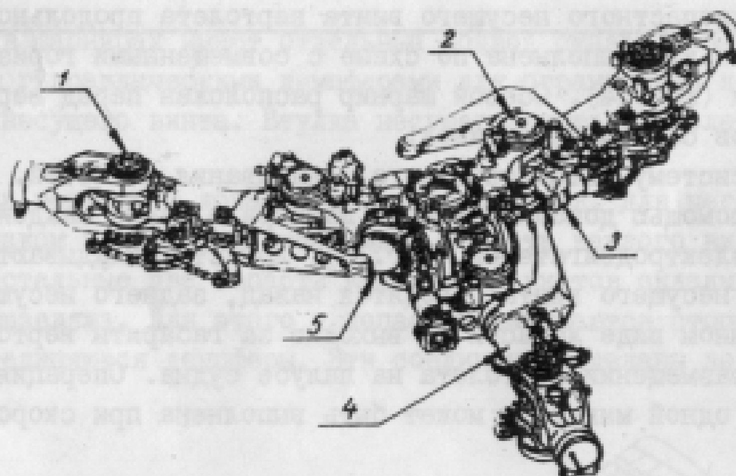


Фиг. I2. Схема втулки несущего винта вертолета Сюд Авиасьон SA.32I "Супер Фрелон"

I-резервуары с маслом для гидравлических демпферов; 2-резервуары с маслом для смазки шарниров; 3-переходник комля лопасти; 4-запорное устройство для (3); 5-автомат перекоса; 6-тяга управления шагом лопасти; 7-гидравлический демпфер колебаний лопасти в плоскости вращения; 8-стопор и демпфер колебаний лопасти в плоскости взмаха; 9-совмещенный горизонтальный и вертикальный шарнир; I0-корпус втулки несущего винта

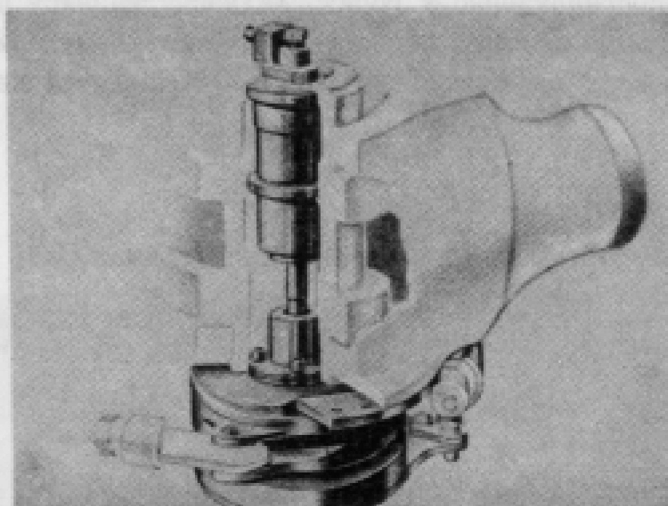


Фиг. I3. Втулка несущего винта вертолета SA.32I

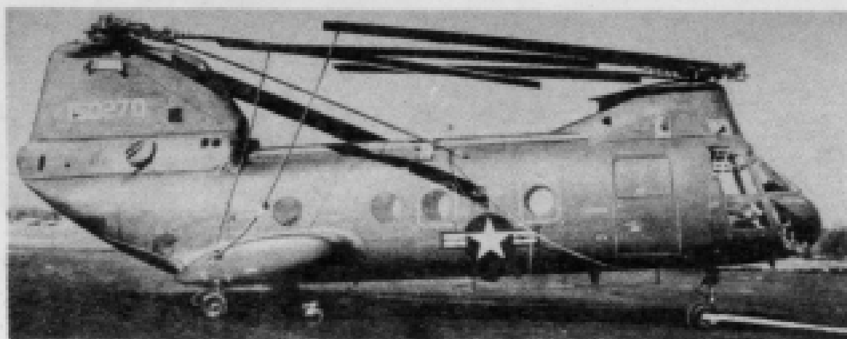


Фиг. I4. Втулка несущего винта вертолета Боинг-Вертол CH-46A "Си Найт"

I-шарнир складывания лопасти; 2-вертикальный шарнир; 3-демпфер вертикального шарнира; 4-корпус осевого шарнира; 5-горизонтальный шарнир



Фиг. I5. Механизм складывания лопастей несущего винта вертолета CH-46A



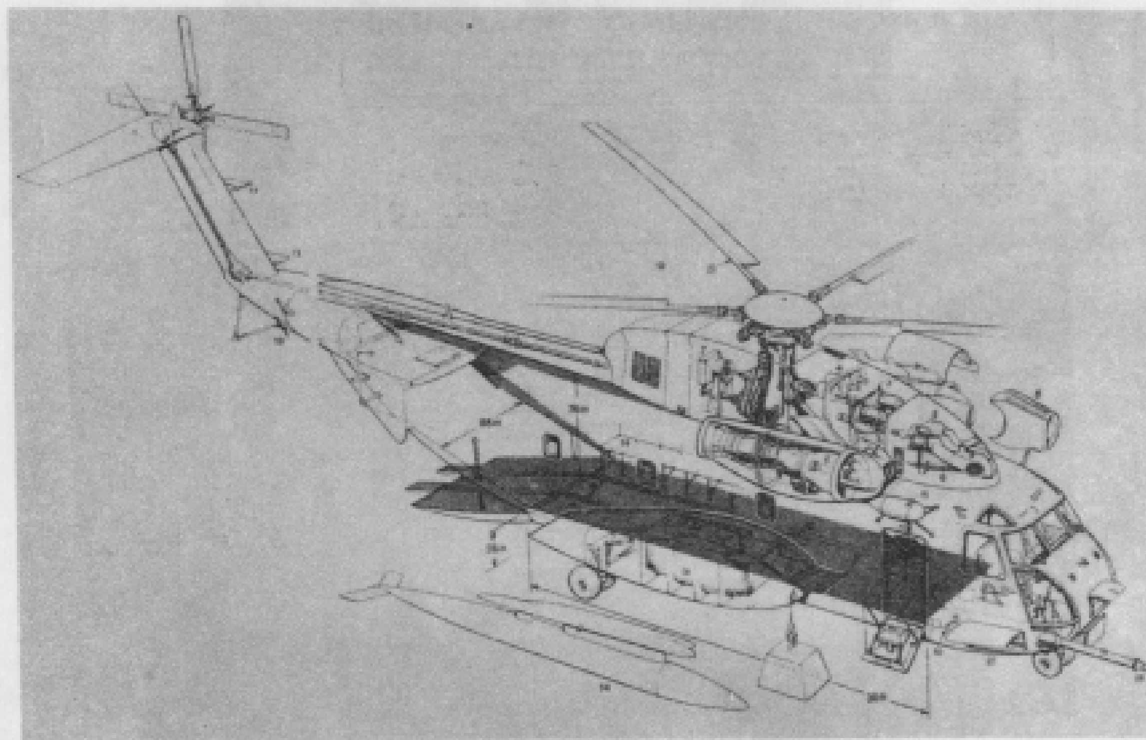
Фиг. I6. Вертолет Боинг-Вертол CH-46 со сложенными лопастями

Втулка четырехлопастного несущего винта вертолета продольной схемы Боинг-Вертол СН-46А "Си Найт" также выполнена по схеме с совмещенными горизонтальными и вертикальными шарнирами (фиг.I4). Осевой шарнир расположен перед вертикальным шарниром. Подшипники шарниров самосмазывающиеся.

Втулка имеет систему автоматического складывания лопастей. Складывание лопастей осуществляется с помощью дополнительного шарнира в комле каждой лопасти, снабженного миниатюрным электродвигателем (фиг.I5). Лопасти складываются вдоль фюзеляжа: лопасти переднего несущего винта отводятся назад, заднего несущего винта – вперед (фиг.I6). В сложенном виде лопасти не выходят за габариты вертолета, что имеет особое значение при размещении вертолета на палубе судна. Операция складывания лопастей длится менее одной минуты и может быть выполнена при скорости ветра до 80 км/час.

2) Втулки с горизонтальными и вертикальными шарнирами, имеющими небольшой разнос

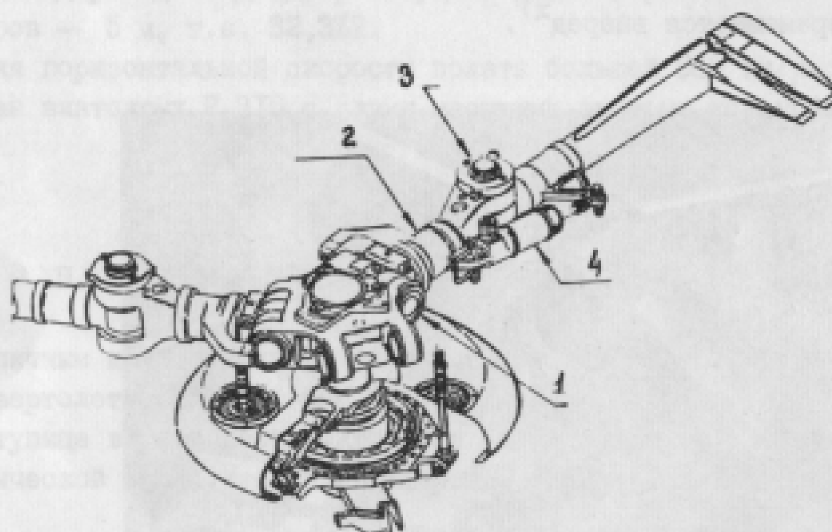
По этой конструктивной схеме выполнены втулки трехлопастных несущих винтов вертолета продольной схемы Боинг-Вертол СН-47 "Чинук" (фиг.I7), схема которой представлена на фиг.I8. Горизонтальные шарниры имеют весьма небольшой разнос – 0,75% радиуса несущего винта. Непосредственно к горизонтальному шарниру примыкает корпус осевого шарнира. Вертикальные шарниры отнесены значительно от оси вращения несущего винта: разнос вертикальных шарниров составляет 8% радиуса несущего винта.



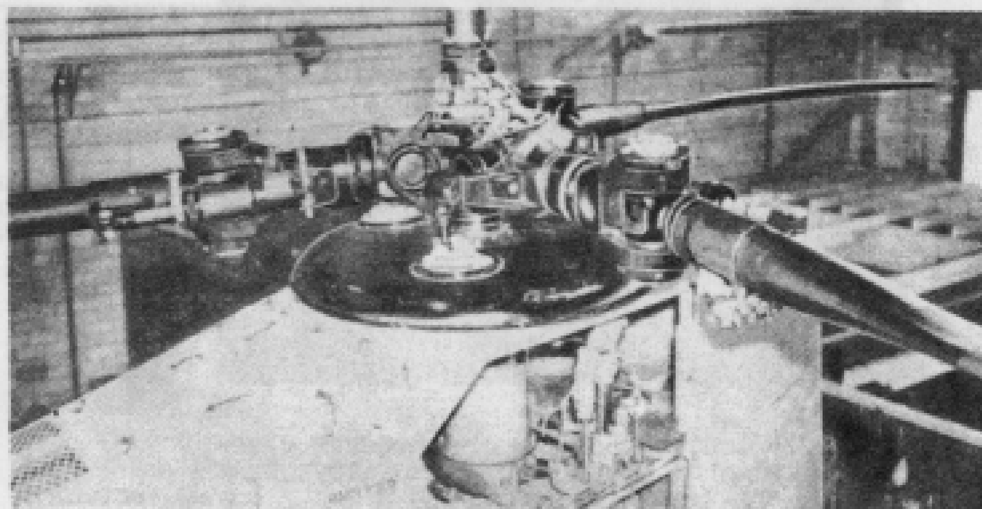
Фиг. I7. Вертолет Боинг-Вертол СН-47 "Чинук"

Все подшипники в шарнирах имеют отдельный подвод смазки и закрыты уплотнениями. Втулки снабжены гидравлическими демпферами для ограничения колебания лопасти в плоскости вращения несущего винта. Втулка несущего винта вертолета CH-47 показана на фиг.I9.

Во время стоянки вертолета лопасти его складываются, для чего несущие винты останавливаются в таком положении, чтобы одна лопасть каждого винта располагалась вдоль фюзеляжа, а остальные две лопасти каждого из винтов складываются, устанавливаясь также вдоль фюзеляжа. Для этого у лопастей вынимаются стопорные пальцы в осевых шарнирах и отсоединяются демпферы. Эти соединения сделаны легкоразъемными.



Фиг. I8. Схема втулки несущего винта вертолета CH-47
I-горизонтальный шарнир; 2-осевой шарнир; 3-вертикальный шарнир; 4-демпфер вертикального шарнира



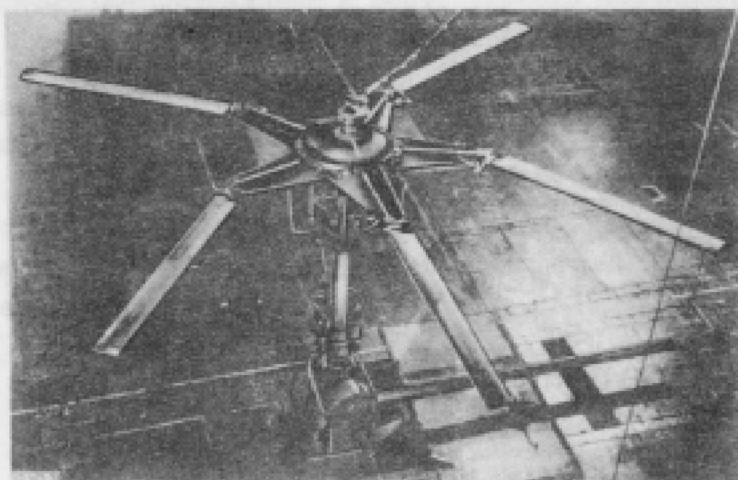
Фиг. I9. Втулка несущего винта вертолета CH-47

3) Горизонтальные и вертикальные шарниры со значительным разносом

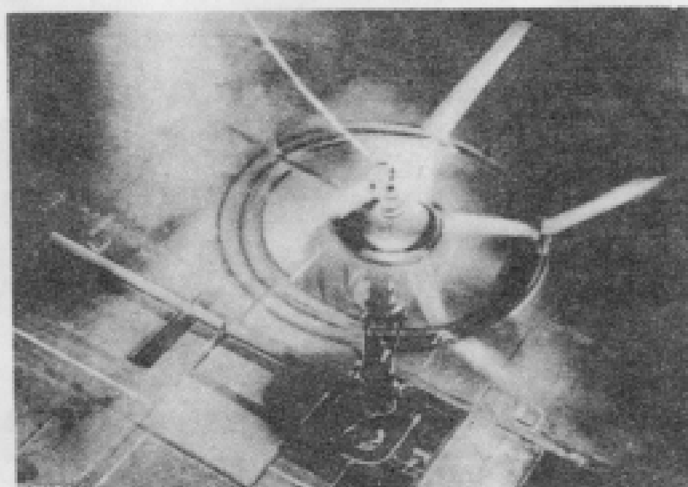
Выше упоминалось о том, что большой разнос шарниров привлекает внимание конструкторов особенно в связи с проблемой уменьшения срыва потока на отступающей лопасти.

Поэтому представляет интерес предложенная и осуществленная немецким конструктором Дершмидтом оригинальная конструкция несущего винта с большим разносом вертикальных шарниров и управляемым отклонением лопастей в плоскости его вращения (фиг.20).

Принцип управляемого отклонения лопастей в плоскости вращения несущего винта состоит в том, что наступающая лопасть дополнительно перемещается назад, а когда она (в связи с изменившимся ее азимутальным положением) становится отступающей, то она дополнительно перемещается вперед[x].



Фиг. 20. Несущий винт конструкции Дершмидта



Фиг. 2I. Испытания в аэродинамической трубе пятилопастного несущего винта конструкции Дершмидта (с диаметром 5 м)

x) См.Обзор № 92 "Несущий винт конструкции Дершмидта с управляемым отклонением лопастей в плоскости его вращения". Издание ОНТИ ЦАГИ, I964 г.

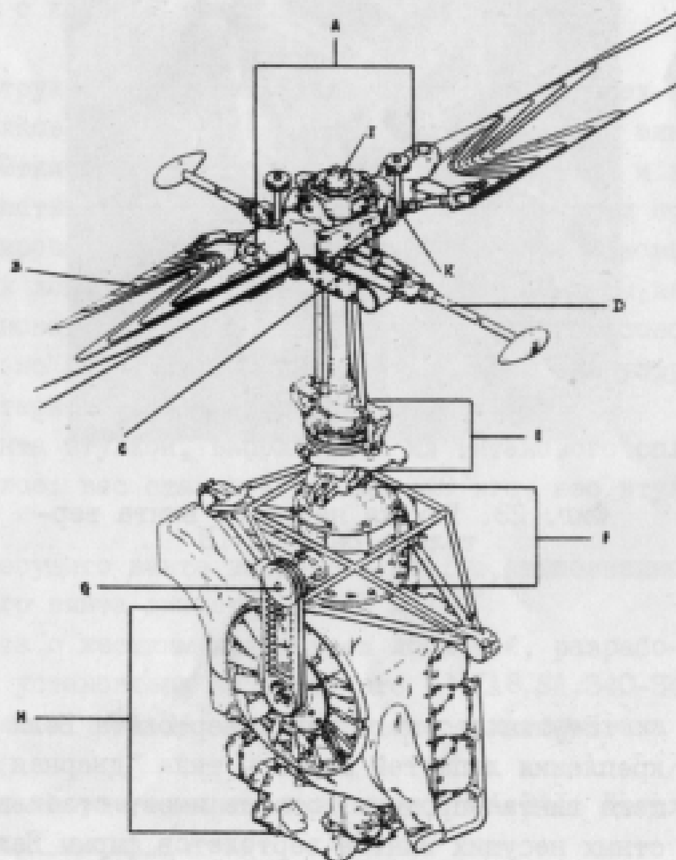
Исследования в аэродинамической трубе пятилопастного несущего винта конструкции Дершмидта диаметром 5 м (фиг.2I) показали, что при управляемом отклонении лопастей может быть достигнута скорость полета 560 км/час без срыва на отступающих лопастях.

Фирма Белков приступила к постройке экспериментального двухместного вертолета с пятилопастным несущим винтом конструкции Дершмидта, получившего обозначение Во.46. Предполагаемая скорость полета вертолета 4I0 км/час. Диаметр несущего винта равен I0 м, величина разноса вертикального шарнира составляла 34% радиуса винта. Амплитуда управляемого отклонения лопасти равна 40°. Был разработан 25 местный пассажирский вертолет с шестилопастным несущим винтом конструкции Дершмидта с горизонтальной скоростью полета 550 км/час и вертолет КG также с шестилопастным несущим винтом конструкции Дершмидта. Диаметр несущего винта вертолета КG 3I м, разнос вертикальных шарниров – 5 м, т.е. 32,3%R.

Для получения горизонтальной скорости полета большей 560 км/час фирмой Белков был спроектирован винтокрыл Р.3I0 с двумя несущими винтами конструкции Дершмидта.

П. ВТУЛКА НЕСУЩЕГО ВИНТА НА КАРДАНЕ

Наиболее типичным конструктивным выполнением подобной схемы, является втулка несущего винта вертолета Белл 47 (фиг.22). Ступица втулки несущего винта подвешена на кардане. К ступице втулки жестко крепятся (болтами) две лопасти несущего винта и узел гироскопической стабилизации, включающий два стабилизирующих стержня.



Фиг. 22. Втулка несущего винта вертолета Белл 47С-4А

А–ступица втулки несущего винта; В–лопасти несущего винта; С–узел стабилизации; D–стабилизирующие стержни; Е–узел автомата перекоса; F–узел трансмиссии; G–привод вентилятора; Н–двигатель; I–универсальный шарнир; К–осевой шарнир

Движения лопастей в плоскости взмаха осуществляются взаимосвязано посредством колебаний ступицы втулки в универсальном шарнире. Осевые шарниры втулки нагружены значительно сильнее, чем у несущего винта с шарнирной подвеской лопастей вследствие значительных изгибающих моментов.

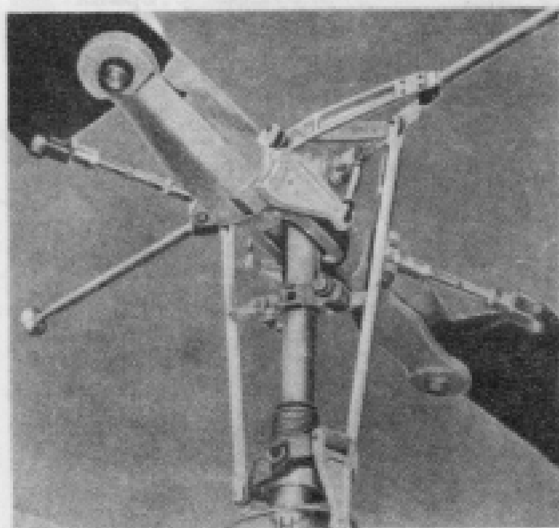
Основные преимущества несущего винта на кардане: простая конструкция втулки, особенно при двухлопастном несущем винте; меньшее количество подвижных деталей (ввиду отсутствия горизонтальных и вертикальных шарниров и демпферов); меньший относительный вес втулки, более простая балансировка лопасти; меньшие усилия в цепи управления несущим винтом

Недостатками такой схемы являются: большие изгибающие моменты в комлях лопастей и, как следствие этого, более тяжелые лопасти; вибрации, вызываемые в двухлопастных несущих винтах второй гармоникой аэродинамических сил.

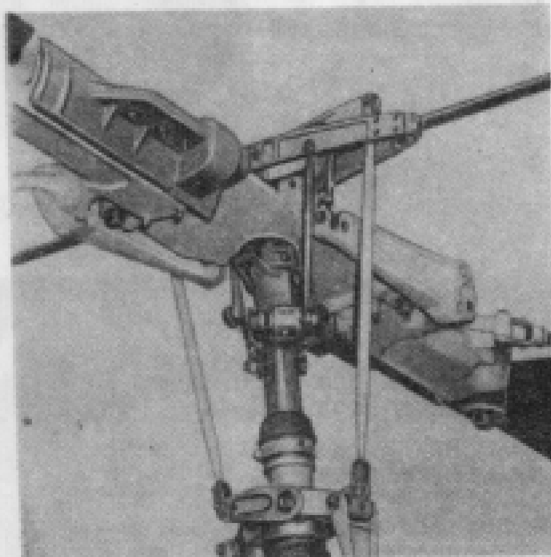
Подобная же схема втулки, подвешенной на кардане, использована на всех вертолетах фирмы Белл; UH-I "Ирокез"; AH-IG "Хьюкобра", AH-IJ "Си-Кобра" и "Кингкобра", OH-58 и Белл 206 "Джет Рэйнджер".

Втулка несущего винта вертолета Белл UH-IB (фиг.23) принципиально не отличалась втулки вертолета Белл 47.

На вертолете Белл UH-IC основное отличие втулки несущего винта состояло в том, что крепление лопастей к ней осуществлялось с помощью системы шарниров типа "дверная петля" (фиг.24).

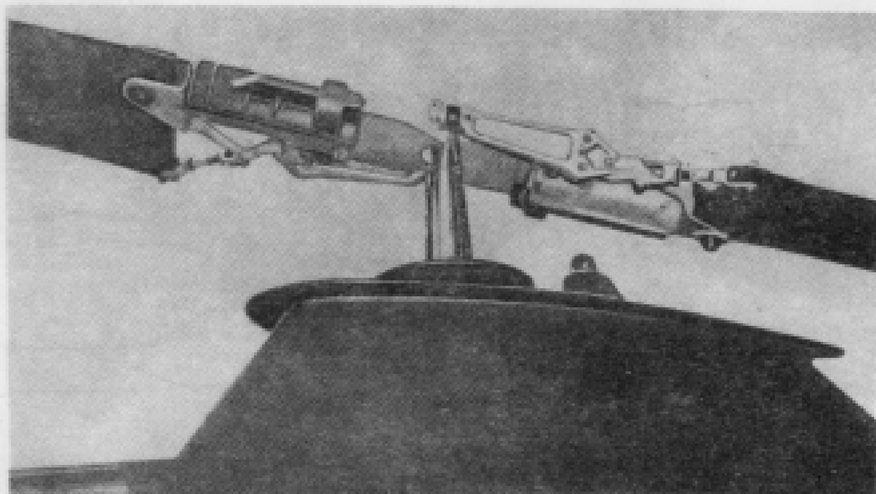


Фиг. 23. Втулка несущего винта вертолета Белл UH-IB



Фиг. 24. Втулка несущего винта вертолета Белл UH-IC

Втулка несущего винта вертолета Белл 209 (AH-IG) "Хьюкобра" также имеет для крепления лопастей шарниры типа "дверная петля" (фиг.25). Конструкция втулки несущего винта упрощена: она не имеет стабилизирующего стержня, обычного для двухлопастных несущих винтов вертолетов фирмы Белл.



Фиг. 25. Втулка несущего винта вертолета Белл АН-IG "Хьюкобра"

Такую же втулку несущего винта применили на вертолете Белл АН-IJ "Сикобра".

Основное отличие втулки несущего винта вертолета "Кингкобра" заключается в том что на ней применены эластомерные подшипники, которые позже были также применены в модифицированной втулке вертолета "Хьюкобра".

Ш. ВТУЛКИ ЖЕСТКИХ НЕСУЩИХ ВИНТОВ (С БЕСШАРНИРНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ ЛОПАСТЕЙ)

I. Втулки несущего винта с жестким креплением лопастей

Наиболее характерной для этой конструктивной схемы является втулка четырехлопастного несущего винта вертолета Белков Во.I05 (фиг.26). Лопасти несущего винта жестко крепятся к втулке (фиг.27). Отклонение лопастей в плоскости взмаха и в плоскости вращения несущего винта осуществляется благодаря упругой деформации лопастей, выполненных из пластмассы, армированной стекловолокном. Сравнение весовых, прочностных и жесткостных характеристик лопастей, изготовленных из пластмассы,нержавеющей стали, из алюминиевого и титанового сплава показало, что у пластмассовой лопасти при меньшем ее весе и значительно более благоприятных характеристик упругости, прочностные и усталостные характеристики значительно выше.

Замена стальной втулки несущего винта втулкой, выполненной из титанового сплава (фиг.28), уменьшает ее вес почти вдвое: вес стальной втулки I40 кгс, вес втулки из титанового сплава - 72 кгс.

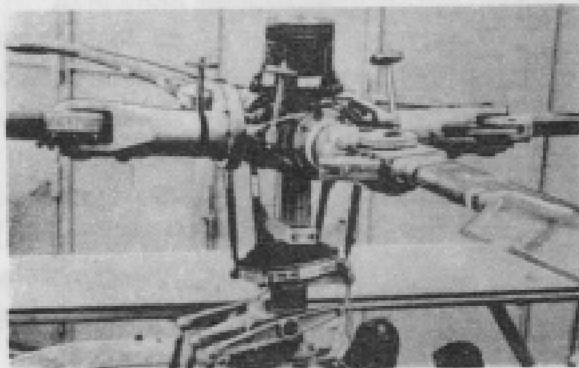
На фиг.29 показаны детали втулки несущего винта вертолета Во.I05, выполненной для экспериментального варианта несущего винта диаметром 9,I5 м.

Втулка трехлопастного несущего винта с жестким креплением лопастей, разработанная совместно с фирмой Белков, была установлена на вертолете SNIAS SA.340-34I (фиг.30). Лопасти несущего винта вертолета SA.34I выполнены из стеклопластика с заполнителем из пенопласта.

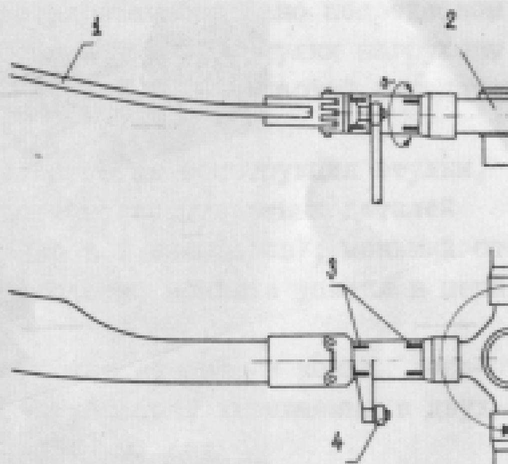
На фиг.3I представлена схема втулки несущего винта вертолета SA.34I. Детали втулки показаны на фиг.32.

БИБЛИОТЕКА
КАЗАНСКОГО
АВИАИНСТИТУТА

556394

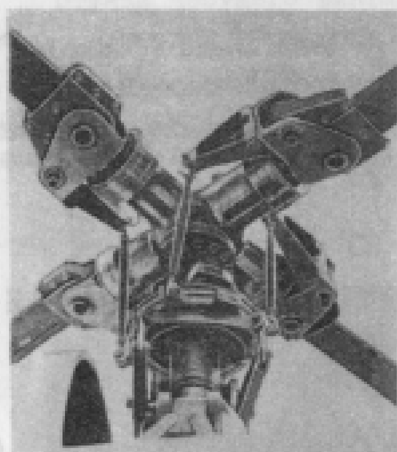


Фиг. 26. Втулка несущего винта вертолета Белков Во.105

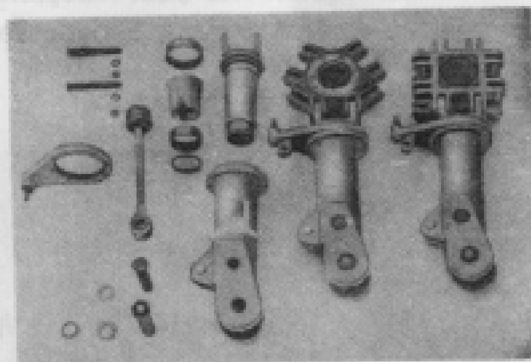


Фиг. 27. Система жесткого несущего винта вертолета Белков Во.105

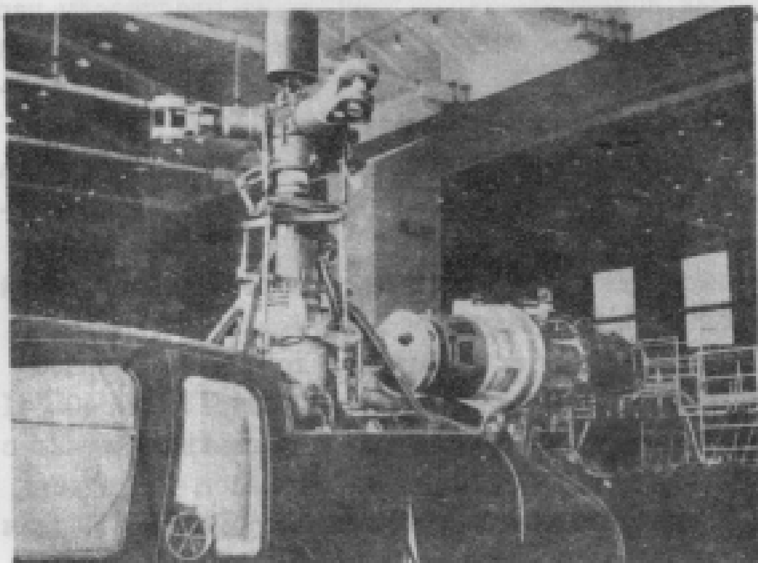
1-лопасть несущего винта (из пластмассы); 2-втулка несущего винта; 3-осевой шарнир; 4-рычаг управления шагом несущего винта



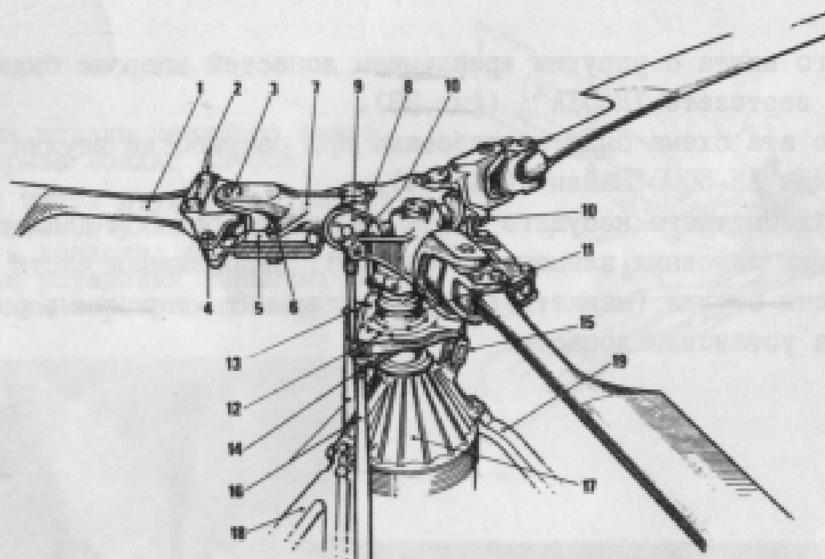
Фиг. 28. Втулка несущего винта вертолета Во.105, выполненная из титанового сплава



Фиг. 29. Детали втулки экспериментального несущего винта вертолета Во.105 диаметром 9,15 м

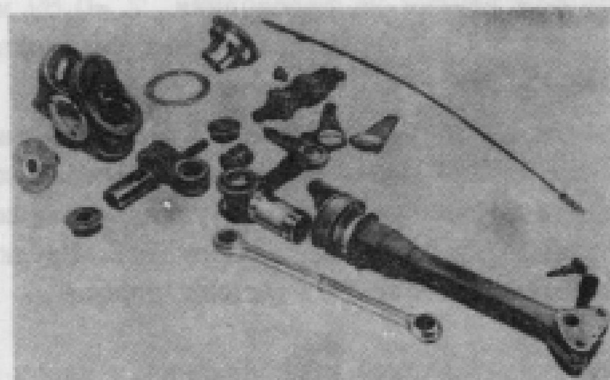


Фиг. 30. Втулка несущего винта вертолета SA.341



Фиг. 3I. Схема втулки несущего винта вертолета SA.34I

I–лопасть несущего винта; 2–крепление лопасти; 3–вертикальный шарнир; 4–крепление вертикального демпфера к комлю лопасти; 5–вертикальный демпфер-упругий торсион; 6–крепление демпфера (упругого торсиона) к стержню горизонтального шарнира; 7–стержень горизонтального шарнира; 8–ступица втулки винта; 9–горизонтальный шарнир; I0–рычаг управления шагом лопасти; II–вал несущего винта; I2–кольцо управления общим и циклическим шагом; I3–тяга управления шагом; I4–нижнее неподвижное кольцо управления общим и циклическим шагом; I6–сервоуправление; I7–главный редуктор; I8–переднее крепление главного редуктора; 19–заднее крепление главного редуктора





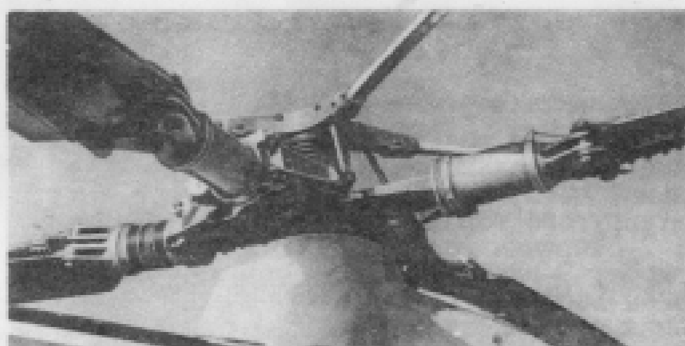
Фиг. 32. Детали втулки несущего винта вертолета SA.34I

2) Втулки несущего винта с упругим креплением лопастей

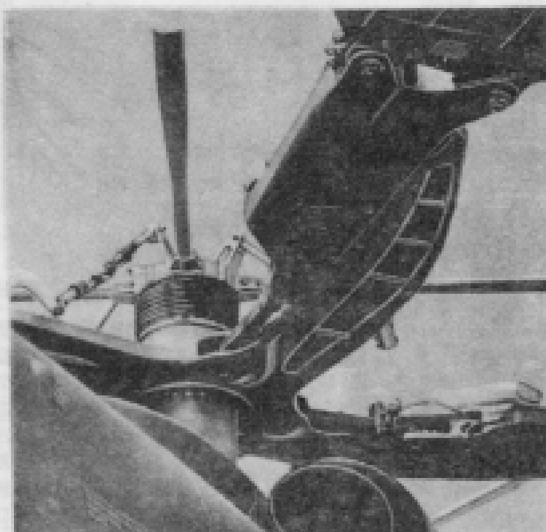
Втулка несущего винта с упругим креплением лопастей впервые была применена фирмой Локхид на вертолете ХН-5IA[x)] (фиг.33).

Более детально эта схема была проработана при разработке втулки несущего винта винтокрыла Локхид АН-56А "Шайен" (фиг.34).

Втулка четырехлопастного несущего винта винтокрыла АН-56А диаметром I5,4 м, состоит из следующих основных элементов (фиг.35): неподвижная часть втулки (ступица), подвижные части втулки (манжеты); упругие элементы-торсионы; рычаги, служащие для изменения угла установки лопасти.



Фиг. 33. Втулка несущего винта вертолета Локхид ХН-5IA



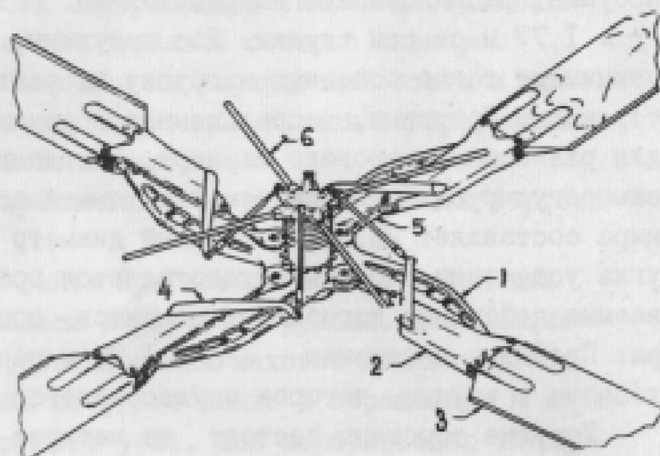
Фиг. 34. Втулка несущего винта винтокрыла Локхид АН-56А "Шайен"

Ступица втулки (фиг.36) имеет четыре плеча, каждое из которых посредством электронной сварки присоединено к основной части ступицы втулки. Диаметр всей втулки составляет 3 м. Плечи ступицы и манжеты изготовлены из титанового сплава T_i 6Aℓ-4V. Каждое плечо ступицы имеет по две сдвоенных проушины: первая сдвоенная проушина расположена в сечении, отстоящем от оси втулки на расстоянии r =0,89 м, другая - в сечении r = I,52 м. Через эти проушины проходит продольная ось лопасти, т.е. проушины являются осевым шарниром.

Изгибающие моменты, действующие на лопасти в плоскости взмаха и в плоскости вращения несущего винта, передаются на ступицу втулки через подвижные части втулки (манжеты). На расстоянии r = 0,30 м от оси втулки расположены узлы крепления упругих торсионов, соединяющих лопасти со ступицей втулки (через манжеты). Втулка несущего винта крепится к валу несущего винта посредством 24 стальных болтов (фиг.36).

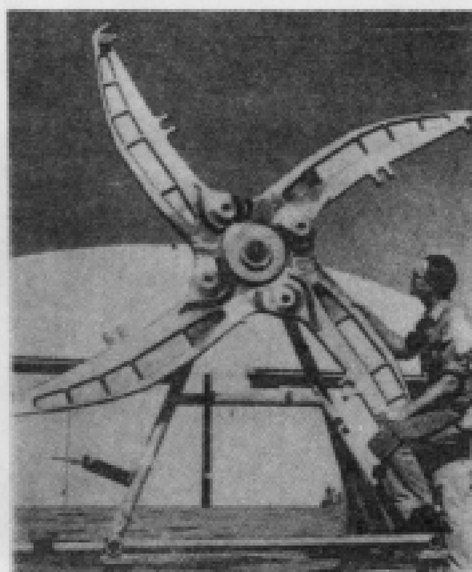
Подвижная часть втулки (манжета) электронной сваркой присоединена к плечу ступицы втулки. Подвижная часть втулки является основным силовым элементом втулки, воспринимающим нагрузки на изгиб и кручение и передающим ее ступице посредством

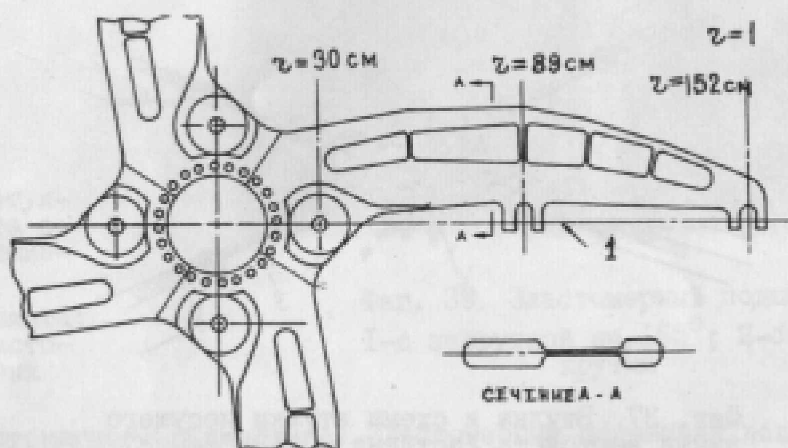
х) См.обзор № 70 "Новые экспериментальные исследования несущего винта вертолета с жестким и полужестким креплением лопастей" изд.ОНТИ ЦАГИ, I969 г.



Фиг. 35. Схема втулки несущего винта винтокрыла Локхид АН-56А

I-неподвижная часть втулки (ступица); 2-подвижная часть втулки (манжета);3-корневая часть лопасти; 4-рычаг для изменения угла установки лопасти; 5-упругие элементы-торсионы; 6-гироскоп



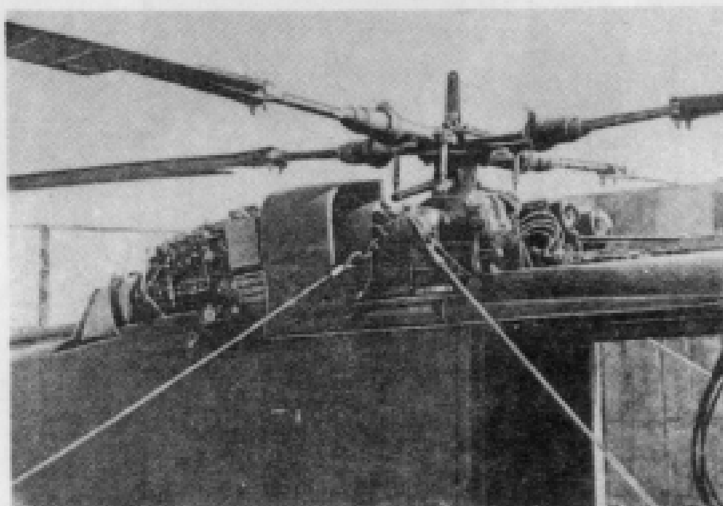


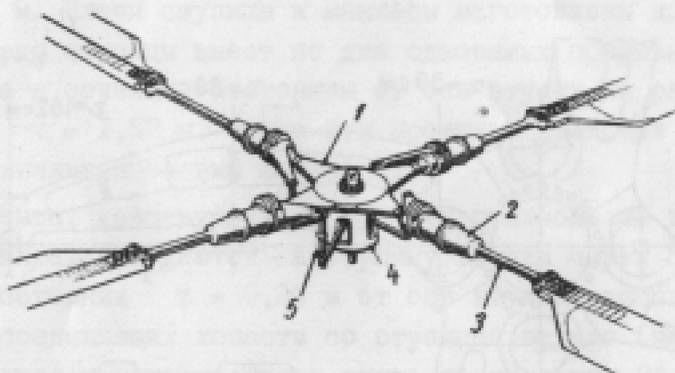
Фиг. 36. Ступица втулки несущего винта винтокрыла Локхид АН-56

I-продольная ось лопасти

проушин, расположенных на расстоянии r = 0,89, r = 0,99 м*, r = I,52 м и r = I,77 м от оси втулки. Две проушины, расположенные в сечении r = 0,89 м, воспринимают также основную нагрузку на растяжение, так как к ним крепятся и упругие торсионы. Проушины, расположенные в сечениях r = 0,89 м и r = I,52 м, служат для размещения шарового шарнира, выполняющего роль осевого шарнира. Шаровой шарнир саморегулирующийся с системой автоматической смазки. Внутренний диаметр втулки шарнира составляет 28,5 мм; внешний диаметр шарового шарнира равен 47,5 мм. Изменение угла установки лопасти осуществляется вращением втулки шарнира; отклонения, вызываемые действием изгибающих моментов, производятся относительно поверхности шарнира. Проушины в сечении r = I,77 м расположены в месте крепления комлевой части лопасти к втулке, которое осуществляется посредством двух стальных болтов.

Упругие торсионы состоят из четырех пакетов, включающих 32000 стальных проволок диаметром 0,I5 мм. Сопротивление проволоки при статической нагрузке составляет 33400 кг/см^2.





Фиг. 37. Втулка и схема втулки несущего винта вертолета Уэстленд WG.I3 "Линкс"

I-внутренний упругий рукав втулки; 2-внешний упругий рукав втулки с корпусом осевого шарнира; 3-часть внешнего упругого рукава, позволяющая лопасти перемещаться в плоскости вращения; 4-ступица втулки; 5-тяга автомата перекоса

Торсионы воспринимают действующие на лопасти центробежные силы и дают возможность лопастям совершать ограниченное вращение относительно осевого шарнира.

Рычаг изменения угла установки лопасти изготовлен из нержавеющей стали и крепится одним концом к подвижной части втулки, а другим концом связан с гироскопом и с тягой управления общим и циклическим шагом лопасти.

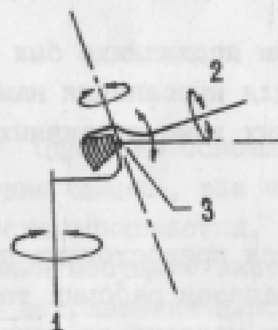
Оригинальную конструкцию имеет втулка четырехлопастного несущего винта вертолета Уэстленд WG .I3 "Линкс" (фиг.37).

Каждая лопасть крепится к втулке несущего винта при помощи набора титановых пластин, устанавливаемых на комлевой части лопасти и упругого рукава. Деформация участка упругого рукава, обращенного к втулке,обеспечивает маховое движение лопасти в плоскости вращения несущего винта. Втулка несущего винта и обращенные к втулке участки упругих рукавов выполнены в виде единого узла, как моноблоковая титановая поковка.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НОВЫХ СХЕМ ВТУЛОК

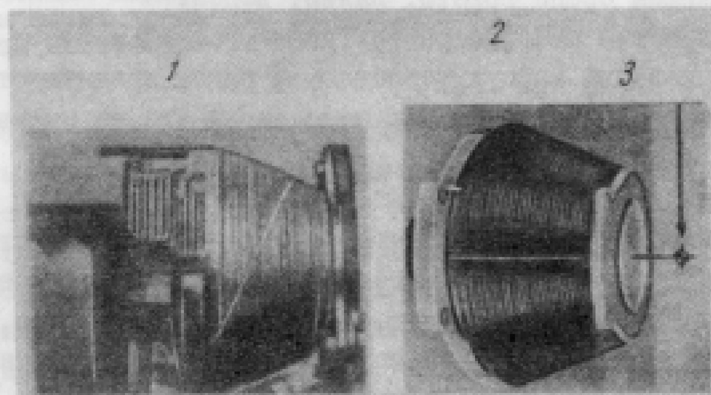
I. Особенности использования эластомерных подшипников

У втулки несущего винта с эластомерными подшипниками маховое движение, перемещение в плоскости вращения и изменение угла установки каждой лопасти обеспечивается одним эластомерным подшипником (фиг.38). Для сохранения постоянного положения геометрического центра эластомерного подшипника применяется дополнительный самосмазывающийся подшипник, воспринимающий только небольшие поперечные нагрузки, перпендикулярные продольной оси лопасти.



Фиг. 38. Схема втулки несущего винта с эластомерным подшипником

I-вал несущего винта; 2-лопасть; 3-эластомерный подшипник



Фиг. 39. Эластомерный подшипник I-с закруткой на I55^{0}; 2-без закрутки

Конструкция эластомерного подшипника. Эластомерный подшипник должен выполнять следующие четыре функции:

воспринимать полную центробежную силу лопасти;
обеспечивать изменение угла установки лопасти;
обеспечивать маховое движение лопасти;
обеспечивать перемещение лопасти в плоскости вращения.

Одновременное выполнение всех этих четырех функций одним подшипником возможно прежде всего лишь в том случае, если подшипник имеет сферическую форму. На фиг.39 показан сферический эластомерный подшипник, рассчитанный на восприятие центробежной силы лопасти в 30400 кгс.

Сферический эластомерный подшипник состоит из чередующихся слоев стали и резины (в серийном варианте предполагается сталь заменить титаном) склеенных друг с другом (фиг.39). Центробежная сила сжимает весь подшипник, который имеет очень высокую степень упругости при сжатии, более высокую, чем предполагалось при расчетных исследованиях, что является большим преимуществом данной конструкции, так как дает при сжатии незначительное смещение относительно оси несущего винта как центра подшипника, так и комля лопасти.

Изменение угла установки лопасти и перемещения ее в плоскости взмаха и в плоскости вращения вызывает относительное смещение металлических пластин подшипника, ограничиваемое силами, возникающими в слоях резины при их сдвиге.

На фиг.39 показан эластомерный подшипник, закрученный вокруг оси осевого шарнира на 155°. Почти правильная спиральная форма закрутки, образуемая слоями подшипника, показывает, что возможно проектирование такого подшипника, у которого напряжение (и деформация) равномерно распределяется по слоям.

По сравнению с обычными шарнирами эластомерный подшипник, в котором угловые перемещения лопастей осуществляются за счет сдвига упругих (эластомерных) элементов, имеет следующие преимущества:

уменьшается количество деталей;

упрощается техническое обслуживание;

отсутствует истирание, износ или проскальзывание вращающихся элементов;

устранено загрязнение рабочих деталей (шарнирных подшипников) присутствующими в окружающей среде грязью, пылью, водой.

В качестве эластомерного (упругого) элемента в эластомерном подшипнике был выбран натуральный каучук, обладающий рядом преимуществ, важных для выполнения намечаемых функций,в то время как недостатки его не вызывают серьезных конструктивных проблем.

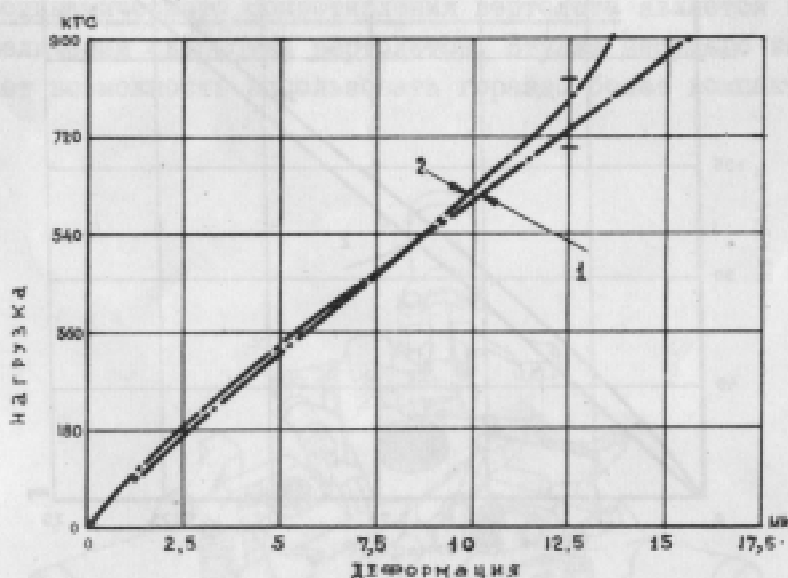
Преимуществами выбранного материала в данном случае являются превосходные прочностные характеристики. Недостатками являются: ограниченный диапазон рабочих температур; чувствительность к воздействию света, озона, загрязнению маслом; старение.

Кратко остановимся на возможном влиянии недостатков натурального каучука при использовании его в эластомерном подшипнике.

Диапазон рабочих температур втулки несущего винта изменяется, примерно, от $-54^{\circ}C$ до $+71^{\circ}C$. Путем определенных добавок к натуральному каучуку получены сорта резины эффективный диапазон температур которых изменяется от $-54^{\circ}C$ до $+82^{\circ}C$, что перекрывает диапазон рабочих температур втулки.

Для выяснения влияния повышенных температур на усталостную прочность эластомерного подшипника были проведены 500 часовые динамические испытания подшипника при температуре $93^{\circ}C$. На фиг.40 показана типичная зависимость деформации подшипника от нагрузки до и после 500 часовых испытаний на усталость. Как следует из графиков фиг.40, после 500 часовых испытаний при температуре $93^{\circ}C$ степень упругости испытываемого образца оставалась в пределах производственных допусков.

При предельной отрицательной температуре диапазона рабочих температур (-54°C) резко увеличивается жесткость резины. Характеристика хрупкости при этом не достигает критической точки, которая наступает при температуре -62°C. Динамические испытания, проведенные при температуре -54°C, показали, что хотя жесткость увеличивается в 22 раза по сравнению с жесткостью при комнатной температуре, но подшипник продолжает нормально работать без разрушения.



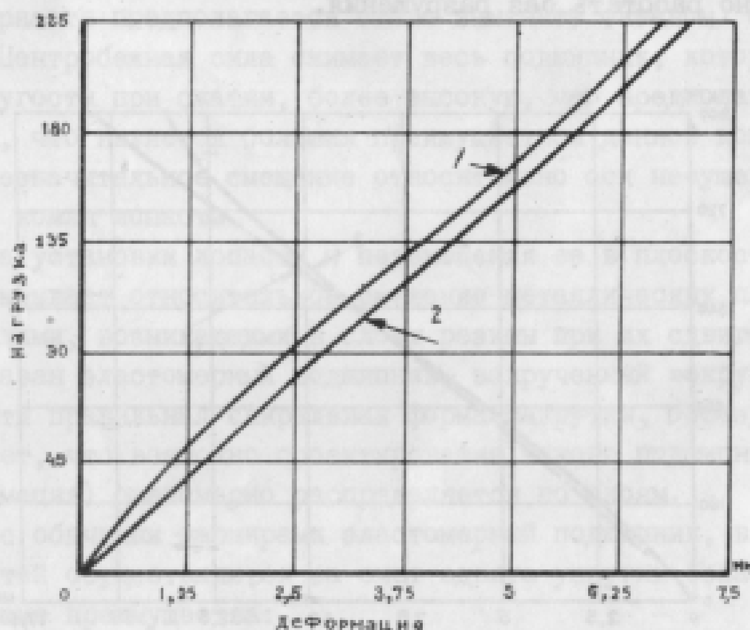
Фиг. 40. Графики зависимости деформации эластомерного подшипника от нагрузки
I-до динамических испытаний; 2-после 500-часовых динамических испытаний на усталость при температуре 93°C

Одним из основных преимуществ втулки с эластомерным подшипником является отсутствие смазки, так что опасность загрязнения эластомерного подшипника маслом практически исключается. Однако, в демпфере лопасти (при ее перемещении в плоскости вращения несущего винта) применяется гидравлическая жидкость. Для защиты от возможного загрязнения эластомерного подшипника гидравлической жидкостью и от воздействия света и озона может быть применено защитное покрытие подшипника. При проведении фирмой Боинг-Вертол программы испытаний эластомерного подшипника были испытаны различные защитные покрытия эластомерного подшипника.

Для резины характерно изменение ее физических свойств с течением времени,т.е. старение. Процесс старения усиливается от воздействия таких факторов, как солнечный свет, кислород, озон, тепло, дождь и другие неблагоприятные влияния окружающей среды при эксплуатации вертолета. За процессом старения эластомерного подшипника должен быть установлен строгий контроль с регулированием условий хранения для ограничения его старения с момента вулканизации подшипника и до постановки втулки с этим подшипником на вертолет.

Во время эксплуатации условия окружающей среды сложнее регулировать, чем при хранении подшипника на складе, и процесс старения эластомерного подшипника будет протекать более интенсивно.

На фиг.4I представлены графики зависимости деформации от нагрузки для эластомерного подшипника до начала эксплуатации и после пяти лет эксплуатации. Для сравнения была использована после пяти лет эксплуатации резиновая рама крепления электромотора под железнодорожным вагоном, выполненная из резины такого же состава, как и эластомерный подшипник.



Фиг. 4I. Графики зависимости деформации эластомерного подшипника от нагрузки при старении резины

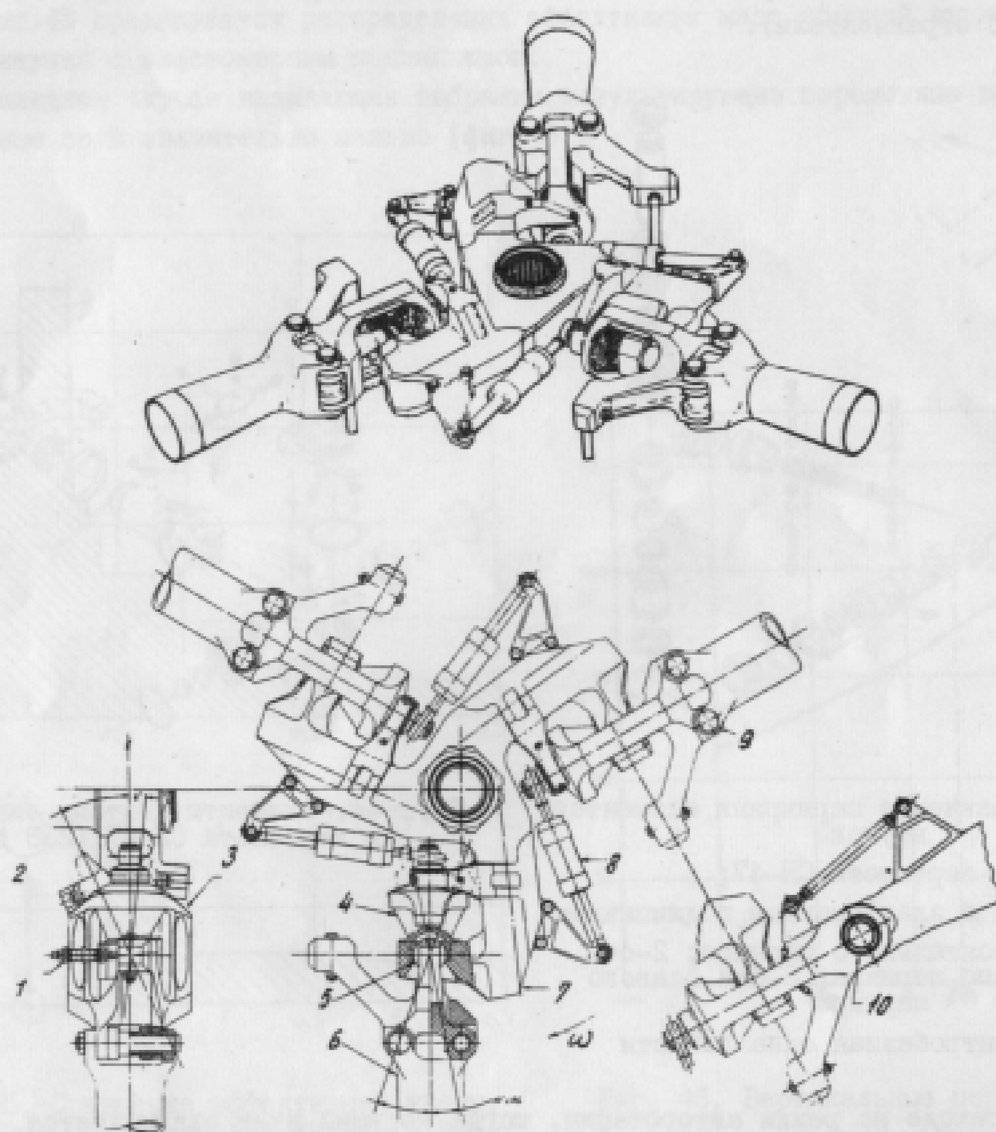
I-новый эластомерный подшипник; 2-эластомерный подшипник после пяти лет эксплуатации

Сравнение втулки с эластомерным подшипником с обычной втулкой с шарнирным креплением лопастей

Применение эластомерного подшипника дает возможность использовать универсальный шарнир, который обеспечивает все три степени свободы и в то же время устраняет необходимость смазки уплотнений и сильно нагруженных контактирующих поверхностей, восприимчивых к пыли, воде и другим загрязнениям. Конструктивная простота втулки с эластомерным подшипником показана на фиг.42, где в аксонометрической проекции представлена трехлопастная втулка с эластомерным подшипником. Особенно наглядно простота конструкции втулки с эластомерным подшипником проявляется в сравнении с обычной втулкой с шарнирным креплением лопастей, например, с втулкой вертолета Боинг-Вертол CH-47 "Чинук" (фиг.I8). На фиг.43 показаны детали втулки несущего винта вертолета Боинг-Вертол CH-47 "Чинук" в сравнении с деталями аналогичной втулки с эластомерным подшипником. Втулка вертолета CH-47 состоит из 408 деталей, в то время как у втулки с эластомерным подшипником для выполнения, по существу, тех же самых функций достаточно 48 деталей. К тому же необходимо учесть, что для обеспечения смазки трущихся деталей втулки вертолета CH-47 используется еще 233 детали (фиг.44): семь маслобаков, 23 пробки для слива и заливки масла; I5 смотровых стекол, 83 уплотнительных кольца, 24 сальника и соответствующее количество крепежных и соединительных деталей.

<u>Основные преимущества втулки несущего винта с эластомерным подшипником</u>. Помимо уже рассмотренных выше преимуществ втулки с эластомерным подшипником (значительное уменьшение количества деталей, следовательно, уменьшение веса и стоимости; упрощение технического обслуживания; увеличение надежности; отсутствие износа, истирания или проскальзывания вращающихся контактирующих деталей; устранение загрязнения рабочих деталей; отсутствие необходимости смазки трущихся деталей), имеется и еще целый ряд существенных преимуществ этой втулки, рассмотренных ниже:

<u>Уменьшение аэродинамического сопротивления вертолета</u> является весьма актуальной задачей в свете увеличения скоростей вертолетов. Втулка несущего винта с эластомерным подшипником дает возможность использовать гораздо более компактный обтекатель.



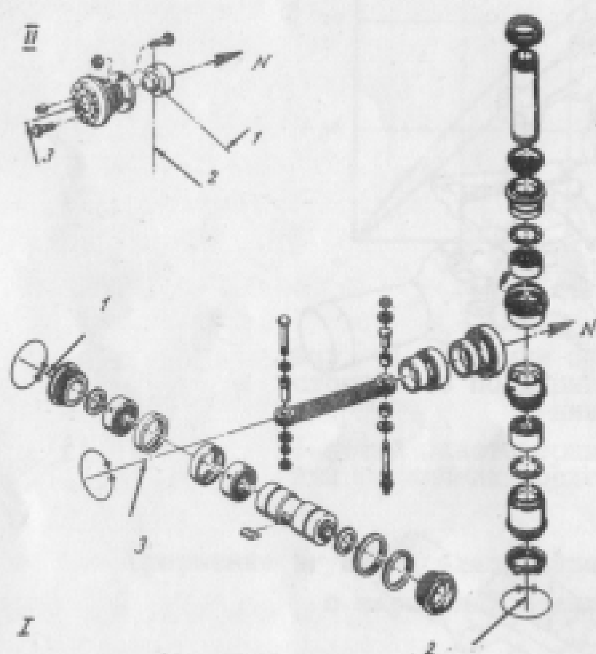
Фиг. 42. Втулка несущего винта с эластомерным подшипником (сверху) и ее схема (снизу)

I-тяга управления шагом; 2-подшипник и ограничитель взмаха и свеса лопасти; 3-корпус шарнира; 4-эластомерный подшипник; 5-сферический подшипник; 6-разъем лопасти; 7-втулка; 8-демпфер лопасти; 8-место крепления лопасти с помощью двух пальцев; I0-разрабатываемое крепление лопасти

Например, испытания в аэродинамической трубе втулки с эластомерным подшипником, закрытой обтекателем, показали уменьшение на 40% силы лобового сопротивления по сравнению со втулкой вертолета СН-47.

Момент крена вертолета зависит от наклона вектора тяги и величины момента втулки несущего винта. Последний, в значительной степени, определяется величиной разноса шарниров. Фактический разнос шарниров втулки несущего винта с эластомерным подшипником больше разноса шарниров втулки вертолета СН-47, что увеличивает общий момент управления по крену, примерно, на 40%.

Увеличенный момент управления делает вертолет более чувствительным к воздействию поперечного управления. Можно, однако, сохранить неизменной управляемость вертолета, уменьшив поперечное перемещение ручки управления циклическим шагом и, тем самым, уменьшив диапазон перемещения лопастей (лопасть реже и с меньшей силой будет ударяться об ограничители).



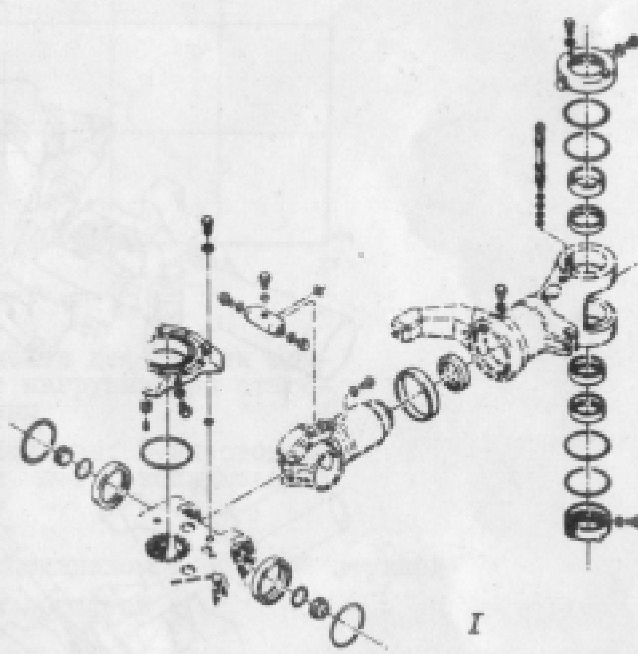
Фиг. 43. Сравнение шарнирных элементов втулок

I – Втулка вертолета СН-47;

II – Втулка с эластомерным подшипником

1-ось горизонтального шарнира; 2-ось вертикального шарнира; 3-ось осевого шарнира

N – центробежная сила лопасти



Фиг. 44. Элементы системы смазки втулки вертолета СН-47 (233 детали)

При переходе на режим авторотации, когда несущий винт разгружается, величина тяги уменьшается и основная часть момента управления по крену обеспечивается за счет разноса шарниров, втулка несущего винта с эластомерным подшипником будет обеспечивать почти вдвое большую эффективность управления по крену.

Демпфирование крена также обеспечивается исключительно несущим винтом: наклоном вектора тяги винта и моментом втулки, т.е. величиной разноса шарниров. Поэтому, увеличенный разнос шарниров втулки с эластомерным подшипником обеспечивает значи-

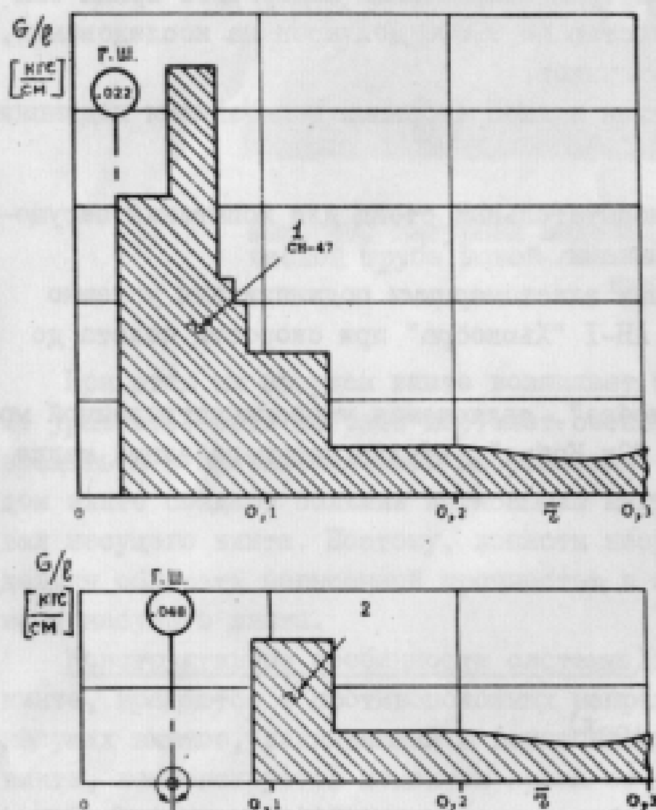
тельное увеличение (до 50%) демпфирования крена. В этом отношении применение втулки с эластомерным подшипником сводит к минимуму необходимость использования системы автоматического повышения устойчивости для обеспечения устойчивости по крену.

Улучшение вибрационных характеристик. Вибрации трехлопастного несущего винта с частотой трех колебаний за оборот винта, возникающие под действием переменных вертикальных нагрузок, наиболее характерны для вертолетов CH-47 "Чинук". Они определяются величиной эффективной массы, сосредоточенной в комлевой части лопасти и перемещающейся вертикально при маховом движении лопасти.

У втулки с эластомерным подшипником величина перемещающейся в плоскости взмаха эффективной массы лопасти значительно уменьшается. Кроме того, втулка с эластомерным подшипником имеет значительную "внутреннюю" массу (сам эластомерный подшипник , демпфер вертикального шарнира и другие устройства).

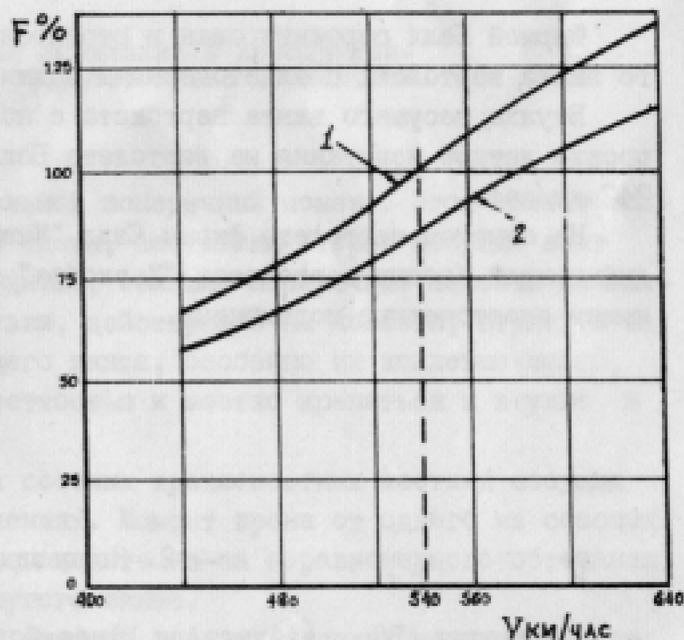
На фиг.45 сравниваются распределения эффективных масс обычной втулки вертолета CH-47 и втулки с эластомерным подшипником.

В последнем случае вызывающие вибрации результирующие переменные вертикальные инерционные силы значительно меньше (фиг.46).



Фиг. 45. Сравнение эффективной массы, связанной с возникновением вертикальных перерезывающих сил на втулке вертолета CH-47

I-эффективная масса обычной втулки с шарнирным креплением лопастей; 2-эффективная масса втулки с эластомерным подшипником



Фиг. 46. Вертикальные переменные силы I-втулка с шарнирным креплением лопастей; 2-втулка с эластомерным подшипником

Эффективность втулки с эластомерным подшипником значительно выше по сравнению с обычной втулкой несущего винта. Общая надежность втулки с эластомерным подшипником и среднее время между отказами оказывается на 50% выше, чем у обычной втулки несущего винта вертолета СН-47.

Помимо исследований и испытаний втулки с эластомерным подшипником, проводившихся фирмой Боинг-Вертол, была выполнена программа по разработке и испытанию втулки с эластомерным подшипником для двухлопастного несущего винта, составленная и осуществленная фирмой Белл совместно с научно-исследовательской лабораторией авиационных материалов армии США. Разработка втулки с эластомерным подшипником ведется фирмой Белл с 1964 г.

На двухлопастном несущем винте эластомерные подшипники используются вместо горизонтального и осевого шарниров. Осевые эластомерные подшипники имеют коническую форму, обеспечивающую восприятие разнонаправленных нагрузок. Они обеспечивают угловые перемещения лопасти более чем на 30^{0} за счет деформации сдвига резиновых слоев эластомерного подшипника, а восприятие действующих на лопасть инерционных и аэродинамических сил приводит к сжатию эластомерного подшипника.

Изготовлением эластомерных подшипников для вертолетов фирмы Белл занимается фирма Лорд. Научно-исследовательская лаборатория авиационных материалов армии США выдала фирмам Белл и Лорд два заказа стоимостью по 99000 долларов на исследование, изготовление и испытания эластомерных подшипников.

Фирма Лорд будет заниматься изготовлением и лабораторными испытаниями подшипников в различных условиях.

Фирмой Белл спроектирован и строится испытательный стенд для испытания несущего винта вертолета с эластомерными подшипниками.

Втулка несущего винта вертолета с новыми эластомерными подшипниками успешно прошла летные испытания на вертолете Белл АН-I "Хьюкобра" при скорости полета до 342 км/час.

На опытном вертолете фирмы Белл "Кингкобра", являющемся усовершенствованной модификацией боевых вертолетов "Хьюкобра" и "Си Кобра", втулка несущего винта также имеет эластомерные подшипники.

2. Концепция АВС[x)]

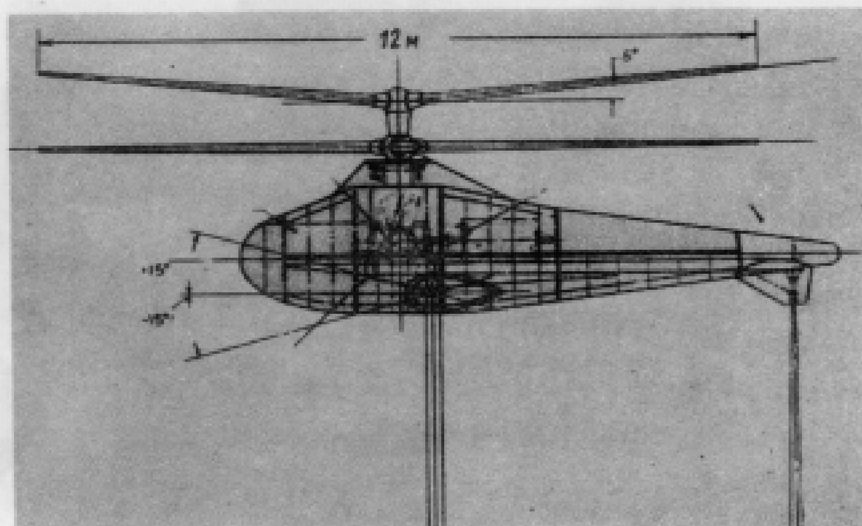
Концепция АВС (Advancing Blade Concept - концепция наступающей лопасти) применена фирмой Сикорский в разработанной ею несущей системе, состоящей из двух соосных жестких несущих винтов, вращающихся в противоположных направлениях (фиг.47). Принципиальной особенностью этой системы является образование подъемной силы только на тех лопастях, которые, вращаясь, перемещаются навстречу потоку воз-

---

x) См.также Обзор № 300 "Экспериментальные исследования жестких несущих винтов", издание ОНТИ ЦАГИ, 1969 г.

духа, т.е. на опережающих лопастях. Тем самым можно исключить ограничение по скорости, накладываемое из-за срыва потока на отстающих лопастях.

Как следует из теоретических и экспериментальных исследований, несущий винт со смещением равнодействующей подъемной силы (при создании подъемной силы только на опережающих лопастях) может иметь качество, более чем вдвое превышающее качество обычного несущего винта.



Фиг. 47. Натурная модель для испытаний в аэродинамической трубе новой системы несущего винта по концепции АВС

При этом на несущем винте возникает большой поперечный момент. Этот момент можно уравнять, если выбрать вертолет соосной схемы, заставляя второй несущий винт вращаться в противоположном направлении. Однако, большие поперечные моменты на каждом винте создают большие изгибающие нагрузки, действующие на лопасти, втулку и вал несущего винта. Поэтому, лопасти несущего винта, особенно их комлевые части, должны обладать повышенной прочностью и жесткостью и жестко крепиться к втулке и валу несущего винта.

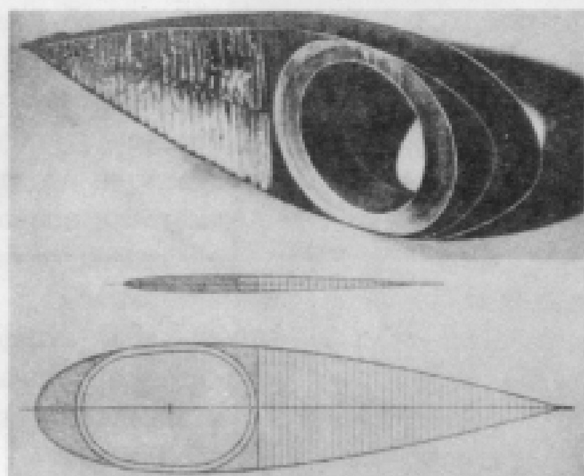
Конструктивные особенности системы. Два соосных трехлопастных жестких несущих винта, вращаются в противоположных направлениях. Момент крена от одного из соосных несущих винтов, возникающий в горизонтальном полете из-за неравномерного обтекания винта, компенсируется моментом крена от другого винта.

По сообщению NASA, во время испытаний системы соосных жестких несущих винтов концепции АВС в научно-исследовательском центре им.Эймса NASA было подтверждено, что эта система может создавать подъемную силу при скорости 560 км/час. При этой скорости обычные несущие винты подъемной силы почти не создают.

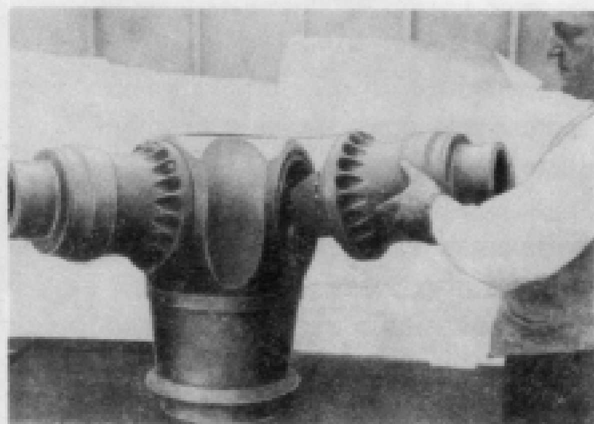
При скорости 333 км/час соосные винты диаметром I2,2 м показали вдвое большую подъемную силу по сравнению с обычным несущим винтом.

Применение жесткого крепления лопастей к втулке повышает эффективность использования потенциальных возможностей лопастей несущего винта в создании подъемной силы.

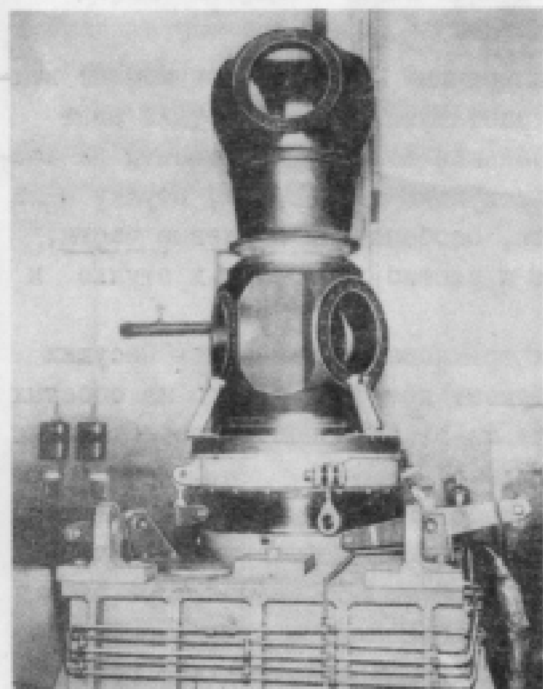
Лонжерон лопасти несущего винта изготовлен в виде конической трубы из титанового сплава (фиг.48). Обшивка лопасти выполнена из стеклопластика. Разрабатывается обшивка несущего винта из бороэпоксидного композиционного материала. Промежуток между лонжероном и поверхностью (обшивкой) заполняется пенопластом. В качестве заполнителя лопасти применяется алюминиевая сотовая конструкция. Лопасти несущего винта концепции АВС имеют переменную хорду, изменяемое сечение профиля и нелинейную крутку. Относительная толщина лопасти у концов составляет 6%, а в корневой части - 28%.



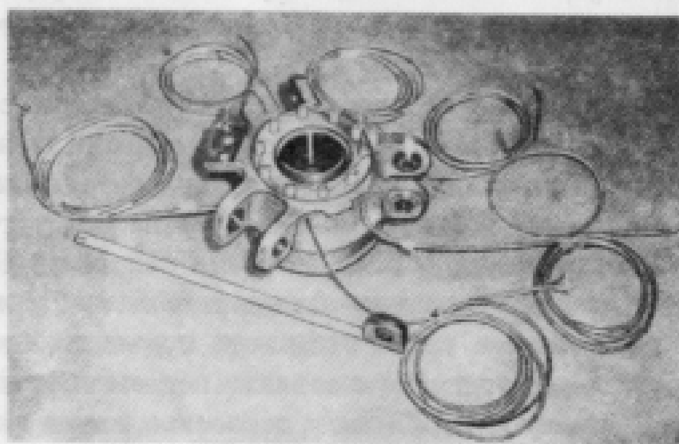
Фиг. 48. Лопасть несущего винта по концепции АВС



Фиг. 50. Макет верхней втулки несущего винта системы АВС



Фиг. 49. Макет вала несущего винта с установленными на нем втулками верхнего и нижнего несущих винтов системы АВС



Фиг. 5I. Кольцо автомата перекоса верхней втулки системы АВС

Ступицы втулок верхнего и нижнего несущих винтов выполнены в виде фланцев на валу винта (фиг.49). Лопасти каждого несущего винта болтами жестко крепятся к фланцам втулок. Во фланцах размещены подшипники осевых шарниров. Проводка управления шагом лопастей верхнего несущего винта проходит внутри вала несущего винта. На фиг.50 показан макет верхней втулки несущего винта. Кольцо автомата перекоса верхней втулки представлено на фиг.5I.



Фиг. 52. Макет вертолета фирмы Сикорский по программе AARV

Новая система несущего винта исследовалась аналитически и на моделях малого масштаба.

В проводившихся натурных испытаниях соосных винтов диаметром I2 м в аэродинамической трубе научно-исследовательского центра им.Эймса NASA исследовались поведение системы на более 250 различных режимах полета. Причем, на каждом режиме полета было проведено по I00 измерений.

Система соосных жестких несущих винтов по концепции ABC применена для разрабатываемого фирмой Сикорский разведывательного бронированного двухместного вертолета по программе AARV /Aerial Armored Reconnaissance Vehicle/.

Макет вертолета (фиг.52) демонстрировался представителям армий США осенью I970 г.

3. Особенности втулок несущих винтов со складыванием лопастей

Механизмом складывания лопастей несущего винта вертолета (автоматически или вручную) снабжены втулки большого числа современных вертолетов. При рассмотрении втулки несущего винта вертолета Боинг-Вертол CH-46A "Си Найт" было обращено внимание на механизмы складывания лопастей этого несущего винта (фиг.I6 и I7).

Для осуществления процесса складывания лопастей втулка несущего винта должна иметь дополнительные шарниры, относительно которых лопасти поворачиваются при складывании, электрический или гидравлический привод, поворачивающий лопасть в нужное положение, ограничители шарниров, фиксирующие положение лопасти в сложенном положении.

Складывание лопастей производится на стоянке сразу же после остановки двигателя. Для автоматического складывания лопастей требуется менее одной минуты.

. Кроме уже упоминавшегося вертолета Боинг-Вертол CH-46A, механизмом складывания лопастей оборудованы втулки несущих винтов вертолетов Сикорский S-65 и Сикорский SH-3D "Си Кинг"; Каман H.2K-I и "Сиспрайт", SNIAS S.A.330 и S.A.32I "Супер Фрелон" и другие.

4. Устройства для уменьшения вибраций несущего винта (маятниковые демпферы)

В последнее время в процессе эксплуатации военных и гражданских вертолетов выявились конструктивные проблемы, связанные с вибрациями, которые было сложно предвидеть на стадии проектирования и постройки вертолета. Решение проблем вибраций, когда они обнаружены в процессе эксплуатации, связано с большими расходами промышленности. Поэтому крайне важно найти решение этих проблем на стадии проектирования, когда с большей гарантией можно обеспечить выполнение требований по комфорту, по надежности конструкции и по простоте обслуживания вертолета.

Разработанный фирмой Сикорский принцип предупреждения вибраций, обеспечивает вертолету низкий уровень вибраций. Этот принцип состоит в применении бифилярного демпфера маятникового типа, воздействующего на первоисточник колебаний - несущий винт.

Бифилярный маятниковый демпфер прошел испытания как на экспериментальных, так и на серийных летных вариантах гражданских и военных вертолетах Сикорский S-6I.

Первый бифилярный демпфер испытывался на вертолете S-6IR. Последующие испытания бифилярного демпфера на пассажирском вертолете Сикорский S-6IN и вертолете ВВС США Сикорский CH-3C подтвердили снижение уровня вибраций в пассажирской кабине и кабине экипажа до ±0,Ig. Причем, особенностью бифилярного демпфера несущего винта является то, что он обеспечивает низкий уровень вибраций и напряжений в узлах всего вертолета и на всех эксплуатационных оборотах несущего винта.

Главным источником вибраций является возмущающие силы на несущем винте. Эти силы увеличиваются вследствие динамической реакции системы - несущий винт втулка-трансмиссия. Совокупность этих возмущающих сил воспринимается каркасом вертолета, вызывая его вибрации.

Бифилярный демпфер непосредственно противодействует колебаниям, возникающим в плоскости вращения несущего винта.

На фиг.53а приведена схема простого маятника, установленного на втулке несущего винта. Ось подвеса маятника отстоит от оси вращения втулки несущего винта на расстоянии R, длина маятника - r. Собственная частота колебания маятника $\omega_м$ пропорциональна угловой скорости вращения втулки несущего винта ω и квадратному корню из отношения R/r. То-есть

$$\omega_м = \omega\sqrt{\frac{R}{r}} \qquad (1)$$

Маятник будет демпфировать колебания втулки несущего винта, если частота его колебаний $\omega_м$ будет близка к частоте действующих на втулку сил. Поскольку частота действующих на втулку сил кратна угловой скорости вращения втулки несущего винта, т.е. равна $n\omega$, то для того чтобы маятник демпфировал эти колебания, нужно подобрать длину маятника r достаточно малой, а именно:

$$r = \frac{R}{n^2} \qquad (2)$$

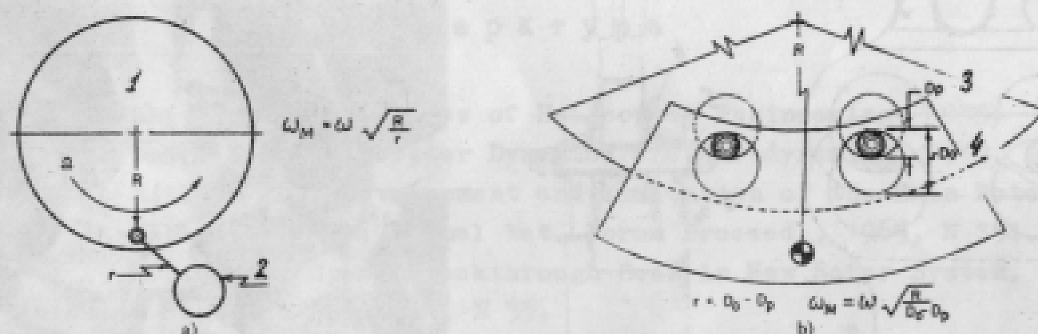
Как это следует из соотношения (2), должно выполняться равенство:

$$n = \sqrt{\frac{R}{r}} \qquad (3)$$

Нетрудно заметить, из соотношения (2), что для демпфирования более высоких гармоник возбуждающих сил, требуемая длина маятника r должна быть недопустимо малой. Чтобы избежать этого, следует применить бифилярный (подвешенный в двух точках) маятник (фиг.53б). Как показано на фиг.53б, приведенная длина бифилярного маятника равна разности между диаметром отверстия в теле маятника и диаметром настроечного пальца маятника:

$$r = D_o - D_p \qquad (4)$$

Следовательно, можно получить сколь угодно малую величину приведенной длины маятника r, увеличивая диаметр настроечного пальца D_p либо уменьшая диаметр отверстия в теле маятника D_o



Фиг. 53. Простой и бифилярный маятник
а) простой маятник;
б) бифилярный маятник
I-втулка несущего винта; 2-масса маятника; 3-диаметр настроечного болта; 4-диаметр отверстия в теле маятника

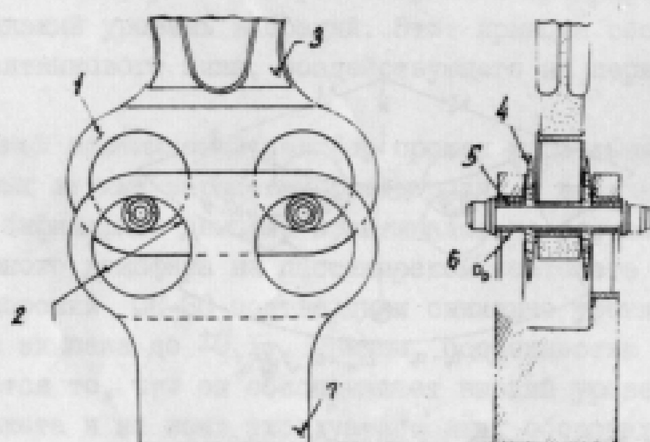
На втулке несущего винта вертолета Сикорский S-6I бифилярный маятник настраивался на демпфирование колебаний от возмущающих сил, действующих с основной частотой $4\ (= K-1)$ за оборот несущего винта и с частотой $6\ (= K+1)$ за оборот несущего винта, где K – число лопастей несущего винта. Как следует из соотношения (3), при n =4 и 6, величины отношения R/r должны составлять значения, соответственно, I6 и 36. Так как радиус (R) точек подвеса экспериментального бифилярного маятника на втулке несущего винта вертолета S-6I был равен 305 мм (его максимальное значение из конструктивных соображений), то приведенная длина маятника (r) должна быть, как это следует из соотношения (2), соответственно R/r = = I9,05 мм и R/r = 8,33 мм. Безусловно, конструктивно осуществить простой маятник с такими приведенными длинами практически невозможно. Конструкция же бифилярного маятникового демпфера дает возможность получить такие приведенные длины.

Экспериментальный бифилярный демпфер разрабатывался для демпфирования колебаний, вызываемых возмущающими силами в плоскости вращения несущего винта величиной до 590 кг, что было определено экспериментально в полете и на вибростенде. Исходя из этой величины возмущающих сил, был определен расчетный вес бифилярного демпфера, составивший 80,7 кгс. Практически он получился равным 8I,5 кгс.

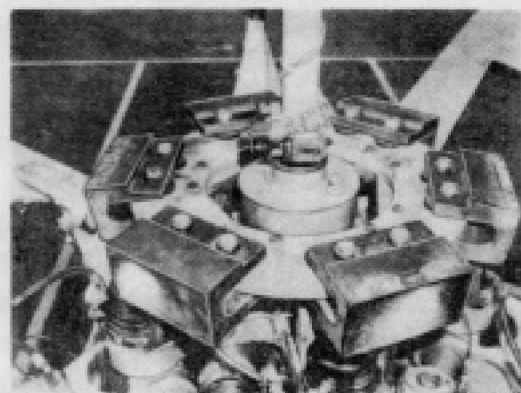
Угол качания маятника был установлен в $\pm 30^{\circ}$, хотя теоретически была обоснова возможность увеличения угла отклонения маятника до $\pm 40^{\circ}$.

Было установлено, что для обеспечения полярной симметрии и успешного демпфир вания колебаний как в продольном,так и в поперечном направлениях, необходимо, ра положить на втулке по крайней мере, три маятника. Исходя из этого, было решено и пользовать постановку шести маятников весом по I3,6 кгс каждый с тем, чтобы оцен эффективность их действия в вариантах три, четыре или шесть маятников для демпфи вания колебаний с частотой 4 за оборот или 6 за оборот винта и колебаний с друго частотой.

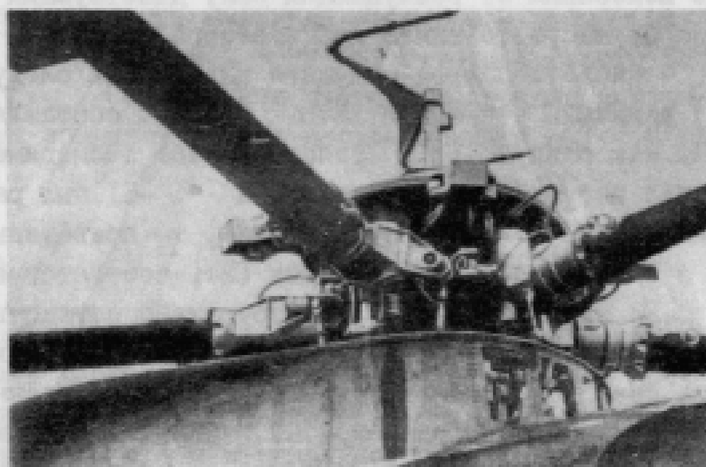
Конструктивное выполнение экспериментального бифилярного демпфера показано н фиг.54. Демпфер состоит из монтажного кольца, крепящегося к опорному кронштейну втулки несущего винта, собственно маятника, втулки маятника с диаметром D_p (ко рый подбирается для изменения собственной частоты колебания демпфера), отверстия



Фиг. 54. Конструкция бифилярного демпфера
I-монтажное кольцо; 2-диаметр отверстия в маятнике; 3-опорный кронштейн; 4-прокладка; 5-настроечный болт; 6-втулка; 7-маятник



Фиг. 55. Экспериментальный бифилярный демпфер, установленный на втулке несущего винта вертолета Сикорский S-6I



Фиг. 56. Втулка несущего винта вертолета Сикорский S-6I с серийным бифилярным демпфером

маятнике диаметром D_0 , осевого болта и прокладки (обеспечивающей контакт втулки со стенками отверстий в маятнике и монтажном кольце без избыточного трения).

На фиг.55 показана втулка несущего винта вертолета Сикорский S-6I с установленным на ней экспериментальным бифилярным демпфером.

Экспериментальный бифилярный демпфер, включая опорные кронштейны, весил I22,5 кгс. Для серийной конструкции было решено уменьшить вес демпфера.

Вес демпфера был уменьшен в два раза путем увеличения в той же пропорции приведенной длины маятников демпфера.

На фиг.56 представлена втулка несущего винта вертолета Сикорский S-6I с серийным бифилярным демпфером. Вес демпфера, включая опорную конструкцию с болтами и гайками, равен 70 кгс.

Литература

1. Shapiro I. Principles of Helicopter Engineering, 1955.
2. Payne P.R. Helicopter Dynamics and Aerodynamics, 1959.
3. William F.P. Development and Evaluation of the Main Rotor Bifilar Absorber, 25th Annual Nat. Forum Proceed., 1969, N 354.
4. Helicopter Speed Breakthrough Seen in New Rotor System, Aviation Week, 1968, 29/IV, N 35.
5. VertiFlite, 1970, N 12; 1965, N 10; 1968, N 6.
6. Interavia, 1971, 13/X, N 7361; 1969, 6/III, N 6709; 1967, 6/XI, N 6374.
7. Flight, 1967, 10/VIII, N 3048.
8. Aviation Week, 1971, 17/V, N 20.